

11 апреля

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. Б. А. Казанский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

27-й ГОД ИЗДАНИЯ

1959

ТОМ 125, № 5

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Стр.

- Л. А. Айзенберг. О граничных свойствах функций, аналитических в двойко-
круговых областях. 959
- А. В. Гладкий. О классе нильпотентности группы с 8-базисом 963
- Л. А. Гусаров. О задаче Коши для некоторых систем линейных уравнений
с частными производными. 966
- Е. П. Долженко. Построение на нигде не плотном континууме нигде не диф-
ференцируемой функции, разлагающейся в ряд по рациональным функ-
циям. 970
- Н. Н. Мейман. К теории функций классов NB и B 974
- Е. Ф. Разумова. Множество точек ветвления при неединственности в одну
сторону. 978
- А. Н. Тихонов. Об асимптотическом поведении интегралов, содержащих бес-
селевы функции. 982

МЕХАНИКА

- В. А. Боднер, В. Е. Овчаров и В. П. Селезнев. О синтезе инвариантных демп-
фированных инерциальных систем с произвольным периодом 986
- И. С. Герасимов. Об одной автомодельной динамической задаче для конической
оболочки 989
- Г. Е. Кузмак. О вычислении асимптотических решений, соответствующих
незамкнутым интегральным кривым «эталонного» уравнения 992
- Е. И. Харламова. Один частный случай интегрируемости уравнения Эйле-
ра — Пуассона. 996

ГИДРОМЕХАНИКА

- С. С. Литвинков. Об одной граничной задаче для линеаризованных уравне-
ний гидродинамики вязкой жидкости. 998

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- А. С. Вольмир и В. Е. Минеев. Экспериментальное исследование процесса
выпучивания оболочки при динамическом нагружении 1002

- Е. М. Белавцева. Закон взаимозаменяемости для процесса разупорядочения некоторых кристаллических соединений под действием электронов средних энергий. 10
- М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский и В. И. Козин. Обратимые радиационно-механические эффекты в полимерах 10
- И. К. Кикоин, Е. М. Буряк и Ю. А. Муромкин. Об аномально большом эффекте Холла в ферромагнитном сплаве хром — теллур 10
- Б. В. Чириков. Прохождение нелинейной колебательной системы через резонанс. 10

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А. В. Мень, С. Я. Брауде и В. И. Горбач. Флуктуации фазовых фронтов при распространении десятисантиметровых радиоволн над поверхностью моря 10
- П. Ф. Фильчаков. О моделировании осесимметричных потенциальных полей на электропроводной бумаге. 10

ХИМИЯ

- В. С. Абрамов и Н. А. Ильина. Реакции альдегидов и кетонов с амидами фосфористых кислот. 10
- М. Е. Дяткина и М. А. Порай-Кошиц. О новом возможном типе изомерии в октаэдрических комплексах некоторых переходных элементов, в частности Си. 10
- Ф. Н. Мазитова, Я. М. Паушкин. Влияние строения нитросоединений ароматического ряда на скорость каталитического восстановления 10
- А. Н. Несмеянов, Л. А. Казицына, Б. В. Локшин и В. Д. Вильчевская. Инфракрасные спектры некоторых алкил- и арилферроценов 10
- А. А. Петров и В. А. Кормер. О присоединении литий-этила и литий-бутила к винилалкилацетиленам 10
- Т. Н. Плиев. К исследованию конформационного равновесия в ряду транс-1,2-дигалоидоциклогексанов. 10
- А. В. Топчиев, В. П. Алания и И. С. Мазель. Полимеризация β -нитростирола 10
- Н. И. Шуйкин, И. Ф. Бельский и Р. А. Караханов. Термическая изомеризация 2-метил-4,5-дигидрофурана метилциклопропилкетон 10

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Ф. И. Вилесов и А. Н. Теренин. Изменение фотоэлектрической работы выхода ZnO , NiO и Cu_2O_3 при адсорбции газов и паров 10
- А. С. Кузьминский, В. Д. Зайцева и Н. Н. Лежнев. О подавлении каталитического действия поливалентных металлов в каучуках 10
- В. П. Павлов и Г. В. Виноградов. Тепловые эффекты при течении и остановке потока аномально вязких тел. 10
- Тза Чюан-синь и З. А. Иофа. О совместном действии органических катионов и галлоидных анионов на выделение водорода на ртутном электроде . . . 10
- Цу Юн-цао и Ми Тиен-ин. Механизм анодного образования иона персульфата 10

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Б. Е. Куценко, М. Н. Кулакова, Е. И. Тинякова и Б. А. Долгопоск. Иницирование процесса полимеризации в эмульсиях под влиянием гидроперекиси изопропилбензола и SO_2 10

ГЕОГРАФИЯ

- Е. Е. Сыроечковский. Опыт биогеографического районирования суши Антарктики (на примере центрального сектора Восточной Антарктиды) 10

ГЕОЛОГИЯ

- М. В. Куликов. Стратиграфическая схема пермских отложений Забайкалья 10
- В. П. Маслов. Строматолиты и фации 10
- М. С. Нагибина. Схема тектоники Северной Маньчжурии 10
- В. С. Саянов. К минералогии глинистых минералов миоценовых известняков северо-западного Причерноморья. 10
- К. Р. Чепиков, Е. П. Ермолова и Н. А. Орлова. Эпигенные минералы как показатели времени прихода нефти в песчаные промышленные коллекторы . . 10

- В. Е. Куман. О некоторых особенностях натрового метасоматоза в Криворожском бассейне. 1100

ТРОГРАФИЯ

- В. Д. Коган. К генезису самородной серы 1103
В. В. Лобанова. Роль пирокластического материала в формировании соляной толщи поднятия Западный Азгир. 1106
Ч. М. Халифа-заде и С. М. Аббасова. Шамозитовые глины из отложений кимериджа юго-восточного Кавказа. 1110

ЕАНОЛОГИЯ

- В. Ф. Канаев. Новые данные о рельефе дна Центральной части Каролинской котловины. 1115
Ю. П. Непрочнов. Глубинное строение земной коры под Черным морем к юго-западу от Крыма по сейсмическим данным 1119
Н. Н. Сысоев. О течениях в океане. 1123

ИТОЛОГИЯ

- И. Б. Токин. О строении ядра и аппарата Гольджи в клетках кишечного эпителия *Parascaris equorum*. 1126

СТОЛОГИЯ

- Э. Н. Попова. К вопросу о нейронном строении коркового конца зрительного анализатора белой крысы. 1130

НЕТИКА

- С. Ю. Гольдат и С. И. Алиханян. Влияние комбинированного действия ультрафиолетовых и рентгеновских лучей на мутационный процесс у *Streptomyces aureofaciens* ЛС-Б16 1134

ДРОБИОЛОГИЯ

- И. Б. Улановский, Н. И. Тарасов и Ю. М. Коровин. Влияние морских желудей на коррозию нержавеющей сталей 1137

ОФИЗИКА

- Н. Ф. Баракина. О механизме деструкции клеток в кроветворных органах млекопитающих под влиянием ионизирующей радиации 1141

ОХИМИЯ

- С. О. Урысон и А. Н. Белозерский. Нуклеотидный состав дезоксирибонуклеиновых и рибонуклеиновых кислот некоторых высших растений 1144
Н. М. Эмануэль и Л. П. Липчина. Потеря blastomagenных свойств вируса саркомы Роуса при воздействии пропилгаллата 1148

ЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- А. П. Виноградов, В. М. Кутюрин, М. В. Улубекова и И. К. Задорожный. Изотопный состав кислорода фотосинтеза 1151
Ф. Л. Калинин. Периодичность окислительно-восстановительного режима формирующегося зародыша растений 1154
А. Ф. Клешнин и И. А. Шульгин. Об оптических свойствах листьев растений 1158
Л. И. Сергеев, К. А. Сергеева и В. К. Мельников. Изoeлектрическая точка протоплазмы и особенности физиологического состояния генеративных почек древесных растений 1162

ЗИОЛОГИЯ

- Е. Б. Бабский и В. Л. Карпман. Об анализе фаз сердечного сокращения по данным динамокардиографии. 1166

БРИОЛОГИЯ

- Г. А. Бузников. Влияние яйцевых оболочек на развитие эмбрионов вьюна 1170

РАЗИТОЛОГИЯ

- А. В. Гусев, Е. В. Жуков и Ю. А. Стрелков. О зараженности минтая паразитами и его промысловом использовании 1174

CONTENTS

MATHEMATICS

- L. A. Eisenberg. Boundary properties of functions analytic in circular regions. 99
 A. V. Gladkii. On the nilpotency class of a group having a δ -basis 99
 L. A. Gusarov. Cauchy problem for certain systems of linear partial differential equations. 99
 E. P. Dolzhenko. Construction on a continuum which is not dense anywhere of a nowhere differentiable function which can be expanded into a series of rational functions. 99
 N. N. Meiman. On the theory of functions of the *HB* and *B* classes 99
 E. F. Razumova. The set of branching points when there is no uniqueness to one side. 99
 A. N. Tikhonov. The asymptotic behaviour of integrals containing Bessel functions 99

MECHANICS

- V. A. Bodner, V. E. Ovcharov and V. P. Seleznev. Synthesis of invariant damped inertial systems with an arbitrary period 99
 I. S. Gerasimov. An automodel dynamic problem for a conical shell 99
 G. E. Kuzmak. Computation of the asymptotic solutions corresponding to non-closed integral curves of a standard equation 99
 E. I. Kharlamova. A particular case of integrability for Euler Poisson's equation 99

FLUID MECHANICS

- S. S. Litvinkov. A boundary value problem for linearized equations of the viscous fluid dynamics. 99

THEORY OF ELASTICITY

- A. S. Vol'mir and V. E. Mineev. The experimental investigation of the process of buckling of a shell under dynamic load 100

PHYSICS

- E. M. Belavtseva. The law of reciprocal substitution for the disorder process of some crystalline specimens by the action of moderate-speed electrons 100
 M. A. Mokuł'skii, Iu. S. Lazurkin, M. B. Fiveiskii and V. I. Kozin. Reversible radiation — mechanical effects in polymers 100
 I. K. Kikoin, E. M. Buriak and Iu. A. Muromkin. Anomalously high Hall's effect in the chromium — tellurium ferromagnetic alloy 100
 B. V. Chirikov. Transition of a non-linear oscillatory system through resonance 100

TECHNICAL PHYSICS

- A. V. Men, S. Ia. Braude and V. I. Gorbach. Phase front fluctuations when ten-centimetre radiowaves are moving over a sea surface 100
 P. F. Fil'chakov. Models of axially symmetrical potential fields on electrically conducting paper. 100

CHEMISTRY

- V. S. Abramov and N. A. Il'ina. Reactions of aldehydes and ketones with phosphorous acid amides. 100
 M. E. Diatkina and M. A. Porai-Koshits. A new possible type of isomerism in the octahedral complexes of some transition elements, especially Cu 100
 F. N. Mazitova and Ia. M. Paushkin. The influence of the structure of aromatic nitrocompounds on the rate of their catalytic reduction 100
 A. N. Nesmeyanov, L. A. Kazitsyna, B. V. Lokshin and V. D. Vil'chevskaya. Infra-red spectra of some alkyl- and arylferrocenes 100
 A. A. Petrov and V. A. Kormer. Addition of ethyl lithium and butyl lithium to vinylalkylacetylenes. 100
 T. N. Pliev. The study of the conformation equilibrium in the trans-1,2-dihaloid cyclohexane series. 100
 A. V. Topchiev, V. P. Alania and I. S. Mazel'. Polymerization of β -nitrostyrene 100
 N. I. Shuikin, I. F. Bel'skii and R. A. Karakhanov. Thermal isomerization of 2-methyl-4,5-dihydrofuran to methylcyclopropylketone 100

PHYSICAL CHEMISTRY

- F. I. Vilesov and A. N. Terenin. Variation of the photoelectric work function of ZnO, NiO and Cr₂O₃ on the adsorption of gases and vapour 100

	<i>Pages</i>
A. S. Kuzminskii, V. D. Zaitseva and N. N. Lezhnev. Inhibition of the catalytic action of polyvalent metals in rubbers	1057
V. P. Pavlov and G. V. Vinogradov. Heat effects involved in the motion and stoppage of a flow of anomalously viscous bodies.	1061
Tza Chuan-sin and Z. A. Iofa. Joint action of organic cations and halogen anions upon the liberation of hydrogen on a mercury electrode	1065
Tsu lun-tsao and Mi Tien-in. The mechanism of persulphate ion formation on the anode.	1069
CHEMICAL TECHNOLOGY	
B. E. Kutsenok, M. N. Kulakova, E. I. Tiniakova and B. A. Dolgoplosk. Investigation of the polymerization process in emulsions under the influence of isopropylbenzene hydroperoxide and SO ₂	1073
GEOGRAPHY	
E. E. Syroechkovskii. An attempt at a biogeographic distribution of the Antarctic dry land.	1077
GEOLOGY	
M. V. Kulikov. A stratigraphic diagram of Permian deposits of Transbaikalia	1081
V. P. Maslov. Stromatolites and fasciae	1085
M. S. Naghibina. A diagram of the tectonic geology of North Manchuria	1089
V. S. Sayanov. A contribution to the study of argillaceous minerals of Miocene limestones of the North-West Black Sea littoral	1093
K. P. Chepikov, E. P. Ermolova and H. A. Orlova. Epigene minerals as time indicators of oil appearance in industrial sand oil reservoirs	1097
MINERALOGY	
V. E. Kuman. On certain peculiar traits of the sodic metasomatism in the Krivorozhsk iron ore basin.	1100
METROGRAPHY	
V. D. Kogan. On the genesis of native sulphur	1103
V. V. Lobanova. The role of pyroclastic material in the formation of the salt-bed of the West Azghir upheaval	1106
Ch. M. Khalifa-zade and S. M. Abbasova. Chamoisite clays from Kimmeridgian deposits of the south-east Caucasus	1110
OCEANOLOGY	
V. F. Kanaev. Recent data on the bottom relief of the central part of the Caroline trough.	1115
Iu. P. Neprochnov. The deep-seated structure of the earth crust underlying the Black Sea south-west of the Crimea from seismic data	1119
N. N. Sysoev. On oceanic currents	1123
CYTOLOGY	
I. B. Tokin. On the structure of the nucleus and Golgi apparatus in the cells of gut epithelium in <i>Parascaris equorum</i>	1166
HISTOLOGY	
E. N. Popova. On the problem as to the neuron structure of the cortical ending of the optic analyser in white rats	1130
GENETICS	
S. Iu. Gol'dat and S. I. Alikhanian. The effect of combined application of ultraviolet and X-rays upon the mutagenic process in <i>Streptomyces aureofaciens</i> LC-B16.	1134
HYDROBIOLOGY	
I. B. Ulanovsky, N. I. Tarasov and Iu. M. Korovin. The effect of sea-acorns upon the corrosion of stainless steels	1137
BIOPHYSICS	
N. F. Barakina. On the mechanism of cell destruction in haemopoietic organs of mammals, taking place under the influence of ionizing radiation	1141
BIOCHEMISTRY	
S. O. Uryson and A. N. Belozerskii. The nucleotid composition of desoxyribonucleic and ribonucleic acids of certain higher plants	1144
N. M. Emanuel and L. P. Lipchina. The loss of blastomagenic properties by the virus of Rows' sarcoma acted upon with propylgallate	1148

A. P. Vinogradov, V. M. Kutiurin, M. V. Ulubekova and I. K. Zadorozhnyi.

The isotopic composition of photosynthetic oxygen 11

F. L. Kalinin. The periodicity of redox conditions of a vegetable embryo . . 11

A. F. Kleshnin and I. A. Shul'gin. On the optic properties of plant leaves . . 11

L. I. Sergeev, K. A. Sergeeva and V. K. Mel'nikov. The isoelectric point and the peculiar characters in the physiological condition of generative buds in arboreal plants. 11

PHYSIOLOGY

E. B. Babskii and V. L. Karpman. An analysis of the phases of cardiac contraction from dynamocardiographic data 11

EMBRYOLOGY

G. A. Buznikov. On the influence produced by egg-membranes on the development of embryos of *Misgurnus fossilis* 11

PARASITOLOGY

A. V. Gusev, E. V. Zhukov and Iu. A. Strelkov. On the infestation of *Theregra chalcogramma* Pal. with parasites, and its use in fishery 11

ПОПРАВКИ

В статье И. В. Гинзбург, Д. Л. Рогачева и А. М. Бондаревой «Новые данные о гольмквистите», помещенной в ДАН, т. 119, № 5, 1958 г.,

Стр. 1013, конец формулы II	Напечатано [OH _{1,7} Fe _{0,1}] _{1,8}	Следует читать [OH _{1,7} F _{0,1}] _{1,8}
„ 1015, строка 21 сверху	b 17,17	b 17,77

Название статьи А. И. Бухоновой, помещенной в ДАН, т. 124, № 2, 1959 г. следует читать «Репаративные процессы в коже молодых собак при введении кортизона и адренокортикотрофного гормона».

В статье Л. С. Гамбаряна «Двигательные реакции при повреждении мозга» и задних столбов спинного мозга», помещенной в ДАН, т. 125, № 2, 1959 г.

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
448	4	Маки, Мики	Мака, Мика
448	20	Маки	Мака
448	34	Мики	Мика
448	1 снизу	Мики	Мика

Подпись к рис. 1 помещенному на стр. 447, находится на стр. 448, под рис. 3. Подпись к рис. 3, помещенному на стр. 448, находится на стр. 447, под рис. 1.

Л. А. АЙЗЕНБЕРГ

О ГРАНИЧНЫХ СВОЙСТВАХ ФУНКЦИЙ, АНАЛИТИЧЕСКИХ В ДВОЯКОКРУГОВЫХ ОБЛАСТЯХ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 8 I 1959)

Пусть D — двоякокруговая область ⁽²⁾ с центром в точке $(0, 0) \in D$ пространства G комплексных переменных (w, z) , ограниченная дважды непрерывно дифференцируемой гиперповерхностью $w = r_1(\tau)\zeta$, $z = r_2(\tau)\zeta e^{-it}$, где $0 \leq t \leq 2\pi$, $0 \leq \tau \leq 1$, $r_1(\tau)$ удовлетворяет условию

$$r_1(0) = 0, \quad r_1(1) < \infty, \quad 0 < r_1'(\tau) < (\text{или} \equiv) \frac{r_1(\tau)}{\tau}, \quad (\text{а})$$

$$r_2(\tau) = \exp \left[- \int_0^\tau \frac{\tau}{1-\tau} d \ln r_1(\tau) \right], \quad \zeta = e^{i\varphi}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi^*.$$

Пространством G мы называем совокупность точек (w, z) , где $|w| < \infty$ и $|z| < \infty$. Класс областей D совпадает с классом двоякокруговых областей D с центром в точке $(0, 0) \in D$, граница Γ которых $|z| = \Psi(|w|)$ дважды непрерывно дифференцируема, а функция Ψ строго выпукла вверх или прямая ⁽¹⁾. Следовательно, как это и показано А. А. Темляковым ⁽¹⁾, области D всегда являются областями регулярности, т. е. областями существования аналитических функций ⁽²⁾.

А. А. Темляков показал ⁽¹⁾: если $f(w, z)$ аналитична в D и оператор $L[f] \equiv f + wf'_w + zf'_z$ непрерывен в \bar{D} , то в области D имеет место интегральное представление

$$f(w, z) = \frac{1}{4\pi^2 i} \int_0^{2\pi} dt \int_0^1 d\tau \int_C \frac{F(r_1(\tau)\zeta, r_2(\tau)\zeta e^{-it})}{\zeta - u} d\zeta, \quad (1)$$

где $F(w, z) \equiv L[f]$, C — замкнутый контур $\zeta = e^{i\varphi}$ и $u = \tau \frac{w}{r_1(\tau)} + (1-\tau) \frac{ze^{it}}{r_2(\tau)}$.

Теорема 1. Пусть на границе области D , ограниченной гиперповерхностью $w = r_1(\tau)\zeta$, $z = r_2(\tau)\zeta e^{-it}$, задана произвольная суммируемая

функция $F(\tau, t, \zeta)$. Пусть $a = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{r_2'(\tau)}{r_1'(\tau)}$, $b = \lim_{\tau \rightarrow 1} \frac{r_2'(\tau)}{r_1'(\tau)}$.

Справедливы следующие утверждения:

I. Если $a \neq 0$, $b \neq -\infty$, то интеграл типа Темлякова I рода (1) и интеграл типа Темлякова II рода

$$\varphi(w, z) = \frac{1}{4\pi^2 i} \int_0^{2\pi} dt \int_0^1 d\tau \int_C \frac{\zeta F(r_1(\tau)\zeta, r_2(\tau)\zeta e^{-it})}{(\zeta - u)^2} d\zeta \quad (2)$$

* Условие (а) нужно добавить и в теореме 4 нашей заметки ⁽³⁾.

в областях D , $E_1 = \{\omega, z: a|\omega| + |z| + r_2(0) < 0\}$, $E_2 = \{\omega, z: b|\omega| + |z| + br_1(1) > 0\}$ являются аналитическими функциями и в области $G - (D + E_1 + E_2)$ неаналитическими функциями.

II. Если $a \neq 0$, $b = -\infty$, то интегралы (1) и (2) являются аналитическими функциями в областях D и E_1 и неаналитическими функциями в области $G - (D + E_1)$.

III. Если $a = 0$, $b \neq -\infty$, то интегралы (1) и (2) являются аналитическими функциями в областях D и E_2 и неаналитическими функциями в области $G - (D + E_2)$.

IV. Если $a = 0$, $b = -\infty$, то интегралы (1) и (2) являются аналитическими функциями в области D и неаналитическими функциями в области $G - \bar{D}$.

Доказательство проводится сначала для случая непрерывной функции f . Например, если $a \neq 0$ и $b \neq -\infty$, то интегралы (1) и (2) являются аналитическими функциями в областях D , E_1 и E_2 , так как при $(\omega, z) \in D$ для всех (τ, t) получаем $u \in K^+$, где K^+ — область, ограниченная контуром C и содержащая точку $u = 0$; при $(\omega, z) \in E_1 + E_2$ для всех (τ, t) получаем $u \in K^-$, где K^- — область, ограниченная контуром C и содержащая бесконечно удаленную точку. В области же $G - (D + E_1 + E_2)$ при данных (τ, t) $u \in K^+$ или $u \in K^-$ в зависимости от $|\omega|$, $|z|$, $\arg \omega$, $\arg z$. Затем делается переход к произвольной суммируемой функции F , исходя из того, что класс функций, непрерывных на Γ , всюду плотен (в смысле сходимости в метрике L^1) в пространстве функций, суммируемых на Γ .

Определение 1. Пусть M — область пространства G ; $r_1(\tau)$ — функция, определяющая границу Γ области D . Функцию $f(\tau, t, u)$, $0 \leq \tau \leq 1$, $0 \leq t \leq 2\pi$, $u \in \bar{K}^+$ ($u \in \bar{K}^-$) назовем функцией класса $P_{D, M}^+$ ($P_{D, M}^-$), если функции семейства

$$\varphi_{\omega, z}(\tau, t) = \begin{cases} f(\tau, t, u), & \text{если } u \in \bar{K}^+ (u \in \bar{K}^-), \\ 0, & \text{если } u \in \bar{K}^- (u \in \bar{K}^+), \end{cases}$$

где $u = \tau \frac{\omega}{r_1(\tau)} + (1 - \tau) \frac{ze^{it}}{r_2(\tau)}$, имеют равностепенно абсолютно непрерывные двойные интегралы по τ, t для всех $(\omega, z) \in M$.

Определение 2. Области D , где $r_1(\tau) \equiv \frac{\tau}{c}$, $r_2(\tau) \equiv \frac{1 - \tau}{d}$, $c > 0$, $d > 0$, т. е. области $D\{\omega, z: e|\omega| + d|z| < 1\}$, назовем областями типа A .

Определение 3. Остовом области D типа A назовем множество точек пересечения Γ с аналитическими плоскостями $\omega = 0$ и $z = 0$.

Теорема 2. I. Если на Γ задана такая функция $F(\tau, t, \zeta)$, что $\int_C \frac{F d\zeta}{\zeta - u} \left(\int_C \frac{\zeta F d\zeta}{(\zeta - u)^2} \right)$ — функция классов $P_{D, G}^+$ и $P_{D, G}^-$, то интеграл типа Темлякова I рода (1) (интеграл типа Темлякова II рода (2)) непрерывен во всем пространстве G (кроме точек остова, если D — область типа A).

II. Если на Γ задана такая функция $F(\tau, t, \zeta)$, что $\int_C \frac{F d\zeta}{\zeta - u} \left(\int_C \frac{\zeta F d\zeta}{(\zeta - u)^2} \right)$ — функция класса $P_{D, \bar{B}}^+$, то интеграл (1) (интеграл (2)) непрерывен в замкнутой области D (кроме точек остова, если D — область типа A).

Доказательство исходит из того факта, что для любой точки $(\omega, z) \in G$ (кроме точек остова, если D — область типа A) плоская лебегова мера тех точек (τ, t) , для которых $u \in C$, равна нулю. Ввиду этого безразлично, как понимать внутренний интеграл в выражении интеграла (1) (интеграла (2)) при $u \in C$.

Следствие 1. Если интеграл $\int_C \frac{F d\zeta}{\zeta - u} \left(\int_C \frac{\zeta F d\zeta}{(\zeta - u)^2} \right)$ равномерно ограничен при $u \in \bar{K}^+$ и $u \in \bar{K}^-$, то интеграл (1) (интеграл (2)) непрерывен во всем пространстве G (кроме точек остова, если D — область типа A).

Следствие 2. Если аналитическая в двоякокруговой области D функция $f(w, z)$ представима по границе этой области интегралом Пуассона — Темлякова I рода

$$f(w, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} dt \int_0^1 d\tau \int_0^{2\pi} \frac{(1-r^2) F(r_1(\tau)e^{iQ}, r_2(\tau)e^{i(Q-t)})}{1+r^2-2r\cos(Q-\varphi)} dQ,$$

где $re^{i\varphi} = u$, F ограничена на Γ , то $f(w, z)$ непрерывна в \bar{D} (кроме точек остова, если D — область типа A).

Следствие 3. Если $f(w, z)$ аналитична в D и оператор $L[f] \equiv F(w, z)$ таков, что функция $F(r_1(\tau)u, r_2(\tau)ue^{-it})$ является функцией класса $P_{D, \bar{D}}^+$, то $f(w, z)$ непрерывна в \bar{D} (кроме точек остова, если D — область типа A).

Следствие 4. Если $f(w, z)$ аналитична в D и оператор $L[f] \equiv F(w, z)$ ограничен в \bar{D} , то $f(w, z)$ непрерывна в \bar{D} (кроме точек остова, если D — область типа A).

Замечание 1. Если наложить на плотность F более сильные ограничения, чем в теореме 2, то можно добиться, чтобы интеграл (1) являлся функцией, непрерывной во всей замкнутой области \bar{D} типа A . Можно, например, потребовать, чтобы функция $F(\tau, t, \zeta)$ была непрерывна по совокупности аргументов (τ, t, ζ) и удовлетворяла по ζ условию $\text{lip } \alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$), независимому от τ и t ⁽³⁾, или чтобы $F(\tau, t, \zeta)$ принадлежала по ζ к классу J_0 ⁽⁴⁾ равномерно по τ и t , т. е. чтобы интеграл

$\frac{\omega(s, F)}{s} ds$ был равномерно ограничен при всех (τ, t) (здесь $\omega(s, F)$ — модуль непрерывности F по ζ ⁽⁵⁾).

Замечание 2. Приведенные результаты еще раз ⁽³⁾ подчеркивают отличие интегралов Темлякова от интегралов Коши и их обобщений на многие переменные (интегралы Мартиннели — Бохнера, Бергмана, Вейля ^(2, 6)). Например, интеграл типа Мартиннели — Бохнера не является в общем случае функцией, аналитической в области D ^(2, 6, 7), и дает обычные формулы Ю. В. Сохоцкого на Γ ⁽⁶⁾. Интегралы типа Темлякова I рода и II рода являются функциями, аналитическими в D , и дают скачки только в точках остова области типа A ^(3, 10).

Ранее нами были введены для двоякокруговых областей D классы h_δ ⁽³⁾, аналогичные классам H_δ аналитических функций одного комплексного переменного ⁽⁹⁾.

Определение 4. Функция $f(w, z)$, аналитическая в области D , принадлежит классу h_δ ($\delta > 0$), если

$$\int_0^{2\pi} dt \int_0^1 d\tau \int_{C_r} |f(r_1(\tau)\zeta, r_2(\tau)\zeta e^{-it})|^\delta |d\zeta| \leq K < \infty$$

при $0 < r < 1$, где C_r — окружность $|u| = r$. Это определение наиболее удобно для приложений.

Определение 5. Функция $f(w, z)$, аналитическая в области D , принадлежит классу h_δ ($\delta > 0$), если

$$\int_0^{2\pi} dt \int_0^1 d\tau \int_{C_{n, \tau, t}} |f(r_1(\tau)\zeta, r_2(\tau)\zeta e^{-it})|^\delta |d\zeta| \leq K < \infty$$

при $n = 1, 2, \dots$, где $C_{n, \tau, t}$ — последовательность спрямляемых кривых, сходящихся к C при всех (τ, t) и $n \rightarrow \infty$.

Определение 6. Функция $f(\omega, z)$, аналитическая в области D , граница которой имеет вид $|z| = \Psi'|\omega|$, принадлежит классу h_δ ($\delta > 0$),

если $\int_{\Gamma_n} |f|^\delta |d\zeta| d\tau dt \leq K < \infty$, $n = 1, 2, \dots$, где Γ_n — граница области D ,

имеющая вид $|z| = \Psi_n|\omega|$, причем при всех φ $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{d \ln \Psi_n(\varphi)}{d \ln \varphi} = \frac{d \ln \Psi(\varphi)}{d \ln \varphi}$.

Теорема 3. Определения 4, 5 и 6 эквивалентны.

При доказательстве эквивалентности определений 4 и 5 используется аналогичный результат М. В. Келдыша и М. А. Лаврентьева из теории классов E_δ аналитических функций одного комплексного переменного (^{8, 9}), и одна наша лемма (^{3, 10}). При доказательстве эквивалентности определений 5 и 6 используется результат А. А. Темлякова (¹), из которого, как можно показать, следует, что при условиях определения 6 будет иметь место

$$\lim_{n \rightarrow \infty} r_{1, n}(\tau) = r_1(\tau), \quad \lim_{n \rightarrow \infty} r_{2, n}(\tau) = r_2(\tau), \quad 0 \leq \tau \leq 1,$$

где $r_{1, n}(\tau)$ и $r_{2, n}(\tau)$ —

такие функции, что граница области D_n представляется в виде $\omega = r_{1, n}(\tau)\zeta$, $z = r_{2, n}(\tau)\zeta e^{-it}$, $\zeta = e^{i\varphi}$ при условии (а).

Отметим, что все предложения настоящей работы можно распространить на случай аналитических функций n комплексных переменных.

Выражаю искреннюю благодарность проф. А. А. Темлякову.

Московский областной педагогический институт
им. Н. К. Крупской

Поступило
2 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Темляков, ДАН, 120, № 5 (1958). ² Б. А. Фукс, Теория аналитических функций многих комплексных переменных, М., 1948. ³ Л. А. Айзенберг, ДАН, 120, № 5 (1958). ⁴ Л. Г. Магнарадзе, Сообщ. АН ГрузССР, 8, № 8 (1947). ⁵ Н. И. Ахиезер, Лекции по теории аппроксимации, М., 1947. ⁶ С. Н. Loong, T. D. Chung, Acta Math. Sinica, 7, 1 (1957). ⁷ S. Bochner, Ann. Math., 44, 652 (1943). ⁸ М. В. Келдыш, М. А. Лаврентьев, Ann. Sci. Ecole Norm. Sup., 54, 1 (1937). ⁹ И. И. Привалов, Граничные свойства аналитических функций, М., 1950. ¹⁰ Л. А. Айзенберг, Уч. зап. Московск. обл. пед. инст., 77, 13 (1958).

А. В. ГЛАДКИЙ

О КЛАССЕ НИЛЬПОТЕНТНОСТИ ГРУППЫ С δ -БАЗИСОМ

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 14 X 1958)

В настоящей заметке доказывается следующая теорема:

Теорема. *Группа с δ -базисом при $\delta < 1/2^{n+1}$, где $n \geq 2$, не может быть нильпотентной класса $\leq n^*$.*

В нильпотентной группе класса $\leq n$ выполняется тождественное соотношение

$$[\dots [[x_1, x_2], x_3], \dots, x_{n+1}] = 1, \quad (1)$$

где $[a, b]$ — коммутатор элементов a и b .

Пусть G_n — группа с δ -базисом, где $\delta < 1/2^{n+1}$ и $n \geq 2$, и a_0, a_1 — две различные образующие G_n . Определим для любого натурального n слово A_n следующим образом: 1) $A_1 \approx [a_0, a_1]$; 2) если определено A_m , то $A_{m+1} \approx \overline{[A_m, a_{i_m}]}$, где $i_m = 1/2 [1 + (-1)^{m+1}]$.

Легко видеть, что $A_m = \prod_{k=1}^{2^{m+1}} a_{i_m, k}^{\varepsilon_k}$, где $i_m, k = 1/2 [1 + (-1)^{m+k+1}]$ и $\varepsilon_k = \pm 1$.

Если бы G_n была нильпотентной группой класса $\leq n$, то, в силу (1), было бы $A_n = 1$. Мы докажем невозможность этого равенства.

Если $A_n = 1$ в G_n , то A_n есть верхнее слово в G_n . Поэтому, в силу основной теоремы (1^a), A_n должно содержать отрезок B_n , являющийся одновременно интервалом некоторого простого слова Дикка C_n , причем $l(B_n) \geq 1/2 l(C_n)$. Отсюда и из $l(B_n) \leq l(A_n) = 2^{n+1}$ следует $l(C_n) \leq 2^{n+2}$.

Будем называть сокращение между факторами некоторого продукта простым, если оно не есть сокращение между дугами взаимно обратных факторов, приложенными друг к другу в соответственных точках. В простом продукте, очевидно, возможны только простые сокращения.

Лемма 1. *Пусть сокращенное слово A группы с δ -базисом, где $\delta < 1/2k$ (k целое) получается из продукта базисных факторов (т. е. факторов, являющихся базисными словами или их обращениями) W_1, \dots, W_N с помощью E ($E > 0$) простых сокращений между факторами s_1, \dots, s_E , причем каждое s_i укорачивает продукт на z_i звеньев, и пусть $l(W_i) = \lambda_i$ ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_N$). Тогда все сокращения можно разбить на p групп $\Gamma_1, \dots, \Gamma_p$, $p \leq N$, причем: 1) если Γ_i состоит из r_i сокращений, то при $i < p$ $r_i \geq k$, $r_p \geq 1$; 2) если v_i — сумма чисел z_i для сокращений групп $\Gamma_1, \dots, \Gamma_i$, то $v_i \leq \lambda_1 + \dots + \lambda_i$ ($1 \leq i \leq p$); 3) если $s_i \in \Gamma_i$, то $z_i \leq \lambda_i / k$.*

* Понятие группы с δ -базисом введено В. А. Тартаковским (1^б). Мы используем понятия, терминологию и обозначения из (1^{a, б}); при этом «продукт» будет означать «линейный продукт»; символ \bar{A} обозначает полное сокращение слова A ; $l(A)$ — длина слова A .

Доказательство. Можно считать, что $z_1 \geq \dots \geq z_E$. При $1 \leq i \leq N$ обозначим через l_i наибольшее из чисел l таких, что $z_1 + \dots + z_l \leq \lambda_1 + \dots + \lambda_i$. Условимся считать $l_0 = 0$. Для $1 \leq i \leq N$ обозначим $t_i = l_{i-1} + 1$.

Для любого $i = 1, \dots, N$ положим $\Gamma_i = \{s_{t_i}, s_{t_i+1}, \dots, s_{l_i}\}$. Несколько последних Γ_i могут быть пусты; номер последней непустой обозначим p . По определению Γ_i обладают свойством 2). Докажем свойство 3). При любом $i = 1, \dots, p$ имеем $z_{t_i} < \lambda_i / k$. При $i = 1$ это сразу следует из $\delta < 1/2k$, $z_1 < 2\delta\lambda_1$. При $1 < i \leq p$, если допустить $z_{t_i} \geq \lambda_i / k$, то в сокращении $s_1, \dots, s_{l_{i-1}}, s_{t_i}$ не сможет участвовать ни один из факторов W_i, W_{i+1}, \dots, W_N . Отсюда $z_1 + \dots + z_{l_{i-1}} + z_{t_i} \leq \lambda_1 + \dots + \lambda_{i-1}$, а это противоречит определению l_{i-1} . Итак, $z_{t_i} < \lambda_i / k$, откуда $z_l < \lambda_i / k$ при $l \geq t_i$, т. е. 3) выполняется. Наконец, 1) следует из 2) и 3). В самом деле, поскольку $z_1 + \dots + z_{l_{i-1}} \leq \lambda_1 + \lambda_{i-1}$ и при $l > l_{i-1}$ $z_l < \lambda_i / k$, имеем при $1 < i \leq p$ $(z_1 + \dots + z_{l_{i-1}}) + (z_{l_{i-1}+1} + \dots + z_{l_{i-1}+k}) < \lambda_1 + \dots + \lambda_i$, а при $i = 1$ $z_1 + \dots + z_k < \lambda_1$, откуда при любом $i = 1, \dots, p$ $r_i = l_i - l_{i-1} \geq k$, если только $l_{i-1} + k \leq E$ (если же $l_{i-1} + k > E$, то $l_i = E$; в этом случае $i = p$). Лемма доказана.

Лемма 2. Если P — продукт N сокращенных факторов (в любой группе), то: а) из тех же факторов можно образовать продукт $Q \equiv P$, который может быть переведен в \bar{P} с помощью некоторой последовательности не более чем $3N - p - 2$ сокращений между факторами, где p — число компонент, не исчезающих при полном сокращении; б) если при этом продукт P простой, то указанную последовательность можно составить из простых сокращений*.

Доказательство. Назовем первичными те сокращения между факторами продукта P , которые происходят между компонентами, смежными в P . При полном сокращении P число непервичных сокращений не превосходит, очевидно, числа исчезающих компонент, которое не больше $2N - 1 - p$. Достаточно, таким образом, доказать, что число E_1 первичных сокращений может быть при соответствующем преобразовании продукта сделано не большим $N - 1$.

При $N = 1$ $E_1 = 0$. Пусть утверждение доказано для продуктов менее чем N факторов и $P \sim A_1 B_1 A_2 B_2 \dots B_n A_{n+1}$ — продукт N факторов, причем A_1, \dots, A_{n+1} — компоненты одного фактора A (A_1, \dots, A_n не пусты, A_{n+1} может быть пусто). Для каждого из продуктов B_i по индуктивному предположению существует продукт тех же факторов $\mathcal{E}_i \equiv B_i$, который можно перевести в \bar{B}_i с помощью последовательности сокращений (δ_i) , содержащей l_i первичных, где $l_i \leq N_i - 1$ (N_i — число факторов B_i). Пусть $A_i \mathcal{E}_i \sim A'_i \bar{\mathcal{E}}'_i$, где $A_i \sim A'_i A''_i$, $\bar{\mathcal{E}}_i \sim \bar{\mathcal{E}}''_i \bar{\mathcal{E}}'_i$. Произведем расщепление \mathcal{E}_i ($\mathcal{E}_i \sim \mathcal{E}''_i \mathcal{E}'_i$), согласованное с расщеплением $\bar{\mathcal{E}}_i$ на $\bar{\mathcal{E}}''_i$ и $\bar{\mathcal{E}}'_i$ (1а), стр. 30). Положим $Q \sim A'_1 \mathcal{E}''_1 \mathcal{E}'_1 A''_1 A'_2 \mathcal{E}''_2 \mathcal{E}'_2 \dots \mathcal{E}''_n \mathcal{E}'_n A''_n A_{n+1}$. Можно перевести Q в \bar{P} , произведя сначала все сокращения из $(\delta_1), \dots, (\delta_n)$, затем сократив все произведения $\bar{\mathcal{E}}''_i A''_i$ и после этого выполнив все остальные возможные сокращения. Нетрудно видеть, что общее число первичных сокращений на двух последних этапах не больше n , откуда $E_1 \leq (N_1 - 1) + \dots + \dots + (N_n - 1) + n = N - 1$. Если при этом продукт P простой, то сокращения из $(\delta_1), \dots, (\delta_n)$ можно считать простыми по индуктивному предположению, а остальные простые, так как возможны и в самом P .

Лемма 3. Пусть P — простой продукт N базисных факторов группы G_n и $l(\bar{P}) = 1$. Если $N \geq 3$, то $l > 2^{n+2}$; если же $N = 2$, то $l \geq 2^{n+2}$.

* Утверждение а) совпадает с частью теоремы А из (1в). Заметим, что утверждение б), не отмеченное в работе (1в), фактически необходимо и для получения ее основного результата.

Доказательство. Если W — базисное слово группы G_n (сокращенное внутренне и внешне), то $\lambda = l(W) > 2^{n+1}$. Действительно, если $W_1 \approx \approx W' \cdot x^\alpha$ и $W_2 \approx x^\alpha \cdot W'$ — циклировки W , то при сокращении $W_1 W_2$ длина W_1 или W_2 уменьшается на 1, откуда $1 < \delta \lambda < \lambda / 2^{n+1}$, т. е. $\lambda > 2^{n+1}$. Далее, в силу леммы 2 можно считать, что число E сокращений между факторами не больше $3N - \rho - 2$. Рассмотрим 4 случая:

1) $N \geq 5$. Применяя лемму 1 и пользуясь ее обозначениями, имеем $r_i \geq 2^n \geq 4$ ($1 \leq i < p$), $r_p \geq 1$, откуда $p \leq [1/4(E-1)] + 1 \leq [3/4(N-1)] + 1$, а если $3/4(N-1)$ целое, то $p \leq 3/4(N-1)$. Поэтому $N - p \geq [N - 3/4(N-1)] \geq 2$, $l = (\lambda_1 + \dots + \lambda_N) - v_p \geq \lambda_{p+1} + \dots + \lambda_N > 2^{n+1}(N-n) \geq 2^{n+2}$.

2) $N = 4$. Имеем $E \leq 3 \cdot 4 - 2 = 10$. Поэтому $\rho \geq 2$. (Очевидно, если s_i — число сокращений, в которых участвует фактор W_i , то $s_1 + \dots + s_N = 2E$. Но при $\rho < 2$ по крайней мере три фактора сократились бы полностью и каждый из них участвовал бы не менее чем в $2^{n+1} + 1 \geq 9$ сокращениях, откуда $s_1 + s_2 + s_3 \geq 27 > 2E$.) Отсюда $E \leq 3 \cdot 4 - 2 - 2 = 8$, что дает $\rho \leq 2$ и $l \geq \lambda_3 + \lambda_4 > 2^{n+2}$.

3) $N = 3$. Имеем $E \leq 3 \cdot 3 - 2 = 7$. Поэтому $\rho \geq 3$ (если бы один из факторов исчез, он участвовал бы более чем в $2^{n+1} \geq 8$ сокращениях), откуда $E \leq 4$, $\rho \leq 1$, $l \geq \lambda_1 + \lambda_2 > 2^{n+2}$.

4) $N = 2$. Рассуждения, аналогичные предыдущим, дают $E \leq 2$, но непосредственно нетрудно видеть, что $E \leq 1$. Если $E = 0$, то $l = \lambda_1 + \lambda_2 > 2^{n+2}$. Если $E = 1$ и $\lambda_1 \leq 2^{n+2}$, то и $\lambda_2 \leq 2^{n+2}$, и каждый фактор может укоротиться разве лишь на 1, так что $l \geq \lambda_1 + \lambda_2 - 2 \geq 2^{n+2}$. Если же

$$E = 1 \text{ и } \lambda_1 > 2^{n+2}, \text{ то } l > (\lambda_1 + \lambda_2)(1 - 1/2^{n+1}) > 2^{n+2}.$$

Вернемся к слову C_n . Оно должно получаться простой композицией N базисных факторов; по лемме 3 $N \leq 2$. Покажем, что это невозможно.

1) $N = 1$. Тогда $2^{n+1} < l(C_n)$, откуда $l(B_n) \geq 2^n + 1 \geq 5$. Но B_n — отрезок A_n , поэтому C_n имеет интервал вида $a_\alpha^{\varepsilon_1} a_{1-\alpha}^{\varepsilon_2} a_\alpha^{\varepsilon_3} a_{1-\alpha}^{\varepsilon_4} a_\alpha^{\varepsilon_5}$, где α есть 0 или 1 и $\varepsilon_k = \pm 1$, т. е. $C_n \approx C_n^{(1)} \cdot a_\alpha^{\varepsilon_1} a_{1-\alpha}^{\varepsilon_2} a_\alpha^{\varepsilon_3} a_{1-\alpha}^{\varepsilon_4} a_\alpha^{\varepsilon_5} \cdot C_n^{(2)}$. Составим три циклировки C_n : C' , C'' , C''' , начинающиеся соответственно с $a_\alpha^{\varepsilon_1}$, $a_{1-\alpha}^{\varepsilon_2}$, $a_\alpha^{\varepsilon_3}$. Легко видеть, что при $\varepsilon_2 = \varepsilon_4$ в произведении $C' C'' C'''$ и при $\varepsilon_2 = -\varepsilon_4$ в $C' C''$ происходит простое сокращение, укорачивающее один из сомножителей на 2, что невозможно, так как $2 = 2^{n+2} / 2^{n+1} > \delta \cdot 2^{n+2} \geq \delta \cdot l(C_n)$.

2) $N = 2$. Пусть W_1, W_2 — факторы C_n . По лемме 3 $l(C_n) \geq 2^{n+2}$, откуда $l(C_n) = 2^{n+2}$. Поэтому $l(B_n) = 2^{n+1}$, т. е. $B_n \approx A_n$. Значит: а) либо $A_n \approx W'_1 \cdot W'_2$; б) либо $A_n \approx W'_1 \cdot W'_2 \cdot W''_1$, где W'_1, W''_1 — интервалы W_1 и W'_2 — интервал W_2 . В случае б) $l(W'_2) \geq 2^{n+1} - 2 > 4$; в случае а) $l(W'_1) > 4$ или $l(W'_2) > 4$, если $n > 2$ или если $n = 2$ и $l(W'_1) \neq \neq l(W'_2)$. Во всех этих случаях можно применить к соответствующему фактору такое же рассуждение, так при $N = 1$ (пользуясь тем, что $l(W_1), l(W_2) \leq 2^{n+2}$, как видно из доказательства леммы 3, случай 4). Остается случай $n = 2$, $A_2 \approx W'_1 \cdot W'_2$, $l(W'_1) = l(W'_2)$. Поскольку $A_2 \approx \approx a_1^{-1} a_0^{-1} a_1 a_0^{-1} a_1^{-1} a_0 a_1 a_0$, имеем $W'_1 \approx a_1^{-1} a_0^{-1} a_1 a_0^{-1}$, $W'_2 \approx a_1^{-1} a_0 a_1 a_0$, $W_1 \approx \tilde{W}_1 \cdot a_1^\alpha a_0^{-1} a_1 a_0^\beta \cdot W_1^*$, $W_2 \approx W_2^* \cdot a_1^\gamma a_0 a_1 a_0^\delta \cdot \tilde{W}_2$.

Если разрезать W_1 между a_0^{-1} и a_1 и вставить циклировку W_2 , начинающуюся с a_0 , в полученном продукте произойдет простое сокращение, укорачивающее один из факторов на 2, что невозможно.

Институт математики Сибирского отделения
Академии наук СССР

Поступило
9 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. А. Тартаковский, а) Матем. сборн., 25 (67), 1, 3 (1949); б) 25 (67), 2, 251 (1949); в) Изв. АН СССР, сер. матем., 13, № 6, 483 (1949).

Л. А. ГУСАРОВ

О ЗАДАЧЕ КОШИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 30 XII 1958)

Рассмотрим систему

$$\frac{\partial u}{\partial t} - P\left(t, \frac{\partial}{\partial x}\right)u + f(t, x) = 0, \quad (1)$$

где $u(t, x) = \{u_1(t, x), \dots, u_m(t, x)\}$, $f(t, x) = \{f_1(t, x), \dots, f_m(t, x)\}$, $x = \{x_1, \dots, x_n\}$; $-\infty < x_r < +\infty$; $r = 1, 2, \dots, n$; $t_0 \leq t \leq T$; $P(t, \partial/\partial x)$ матрица из m строк и m столбцов, элементами которой являются линейные операторы различных порядков по переменным x_r с комплексными коэффициентами, непрерывно зависящими от t . Предположим, что максимальный порядок операторов σ четный;

$$u(x, t_0) = u^*(x), \quad u^*(x) = \{u_1^*(x), \dots, u_m^*(x)\}. \quad (2)$$

$u^*(x)$ и $f(t, x)$ — непрерывные и ограниченные комплексные функции t и x и имеют непрерывные производные по различным комбинациям x_r до порядка $(2n+1)\nu$; смысл ν будет выяснен в дальнейшем.

Напишем систему обыкновенных уравнений

$$\frac{dv}{dt} = P(t, (i\alpha))v, \quad (3)$$

$\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$, $-\infty < \alpha_r < +\infty$, $i = \sqrt{-1}$, $v = \{v_1, \dots, v_m\}$, соответствующую системе (1).

Фундаментальную систему решений (3) обозначим через $v_l^q(t, \tilde{t})$,

$$v_l^q(\tilde{t}, \tilde{t}) = 0 \quad \text{при } l \neq q; \quad v_l^l(\tilde{t}, \tilde{t}) = 1, \quad t_0 \leq \tilde{t} < T, \quad \tilde{t} \leq t \leq T. \quad (3')$$

При некоторых дополнительных ограничениях на коэффициенты системы (1) функции v_l^q будут удовлетворять условию А И. Г. Петровского (1)

$$|v_l^q| \leq C(1 + \alpha^*)^\nu, \quad l, q = 1, 2, \dots, m, \quad \alpha^* = \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k^2\right)^{1/2}, \quad C = \text{const.} \quad (A)$$

Из (A) будет следовать, что задача Коши (1), (2) поставлена равномерно корректно на отрезке $t_0 \leq t \leq T$ в классе ограниченных функций.

Представим матрицу $P(t, (i\alpha))$ в виде суммы трех квадратных матриц m -го порядка

$$P(t, (i\alpha)) = P^{(\sigma)}(t, (i\alpha)) + P^{(\sigma-\tau)}(t, (i\alpha)) + P^0(t, (i\alpha)).$$

Элементами матриц $P^{(\sigma)}$ и P^0 являются многочлены, однородные относительно $(i\alpha)$, степени соответственно σ и нулевой, а матрицы $P^{(\sigma-\tau)}$ — многочлены степени $\sigma - \tau$, $1 \leq \tau \leq \sigma - 1$.

Назовем характеристическим для системы (1) уравнение

$$\det [P^\sigma(t, (i\alpha)) - E\lambda] = 0. \quad (4)$$

Предположим, что:

а) при всех $\alpha_1, \dots, \alpha_n$, для которых $\alpha^* = 1$, и всех $t_0 \leq t \leq T$, за исключением некоторых t_1, t_2, \dots, t_ρ из отрезка $[t_0, T]$, корни (4) имеют трицательную вещественную часть;

б) при значениях t_1, t_2, \dots, t_ρ вещественная часть корней (4) равна нулю;

в) в точках t_1, \dots, t_ρ производные четного порядка $2s$ от коэффициентов $P^\sigma(t, (i\alpha))$ непрерывны, а производные низших порядков равны нулю.

Положив в (3) $v_l = \tilde{v}_l \alpha^{*-s}$, получим систему:

$$\frac{d\tilde{v}_l}{dt} = (\alpha^*)^\sigma \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k_{s,1}} a_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)}(t) \left(\frac{i\alpha_1}{\alpha^*}\right)^{k_1} \dots \left(\frac{i\alpha_n}{\alpha^*}\right)^{k_n} + \right. \quad (5)$$

$$\left. - \sum_{k_{s,2}} b_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)}(t) \left(\frac{i\alpha_1}{\alpha^*}\right)^k \dots \left(\frac{i\alpha_n}{\alpha^*}\right)^{k_n} \frac{1}{(\alpha^*)^{\nu_{lj}}} \right] \tilde{v}_j + \sum_{j=1}^m h_{lj}(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) \tilde{v}_j,$$

где $|h_{lj}| < H$ при $\alpha^* > \alpha_0 > 0$; H — постоянная; $\sum_{k_{s,1}}$ означает суммирование

по тем k_s , для которых $\sum k_s = \sigma$, и $\sum_{k_{s,2}}$ — суммирование по тем k_s ,

для которых $0 < \sum k_s < \sigma$; $\nu_{lj} > 0$. В окрестности $t = t_p$, $|t - t_p^*| < \delta$, $l = 1, 2, \dots, \rho$, преобразуем (5) к виду:

$$\frac{d\tilde{v}_l}{dt} = (\alpha^*)^\sigma \sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{k_{s,1}} a_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*}\right) + \right. \quad (6)$$

$$\left. + \left[\frac{1}{(2s!)} \sum_{k_{s,1}} D_t^{(2s)} a_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*}\right) + \frac{o_{lj}(t - t_p)^{2s}}{(t - t_p)^{2s}} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{\sum_{k_{s,2}} b_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*}\right)}{(t - t_p)^{2s} (\alpha^*)^{\nu_{lj}}} \right] (t - t_p)^{2s} \right\} \tilde{v}_j + \sum_{j=1}^m h_{lj}(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) \tilde{v}_j.$$

здесь $D_t^{(s)}$ — s -я производная по t ; $o_{lj}(t)$ — o малое.

Обозначим через μ множество точек $\{\alpha_1/\alpha^*, \dots, \alpha_n/\alpha^*\}$, $\alpha^* > \alpha_0 > 0$, сделаем дополнительные предположения:

г) для каждой точки $Q(\alpha_1^*/\alpha^*, \dots, \alpha_n^*/\alpha^*)$ из μ найдется такая окрестность Δ , в которой существует неособое преобразование

$$\tilde{v}_l = \sum_{j=1}^m c_{lj} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*}\right) w_j \quad (7)$$

определителем, по модулю большим $a > 0$, где c_{lj} непрерывны по $\alpha_1^*/\alpha^*, \dots, \alpha_n^*/\alpha^*$, которое приводит систему

$$\frac{d\tilde{w}_l}{dt} = (\alpha^*)^\sigma \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k_{s,1}} a_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*}\right) \right] \tilde{w}_j \quad (8)$$

к виду

$$\frac{dw_k}{dt} = (\alpha^*)^\sigma \lambda_k w_k, \quad (1)$$

λ_k — корни (4) при $t = t_p$;

д) корни уравнения

$$\det \left\{ \sum_{k_s, 1} \frac{1}{(2s)!} D^{(2s)} a_{lj} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) - \lambda E \right\} = 0 \quad (1)$$

имеют отрицательную вещественную часть, не превосходящую $-\delta_0$, $\delta_0 > 0$

$$е) \ b_{lj}^{(k_1, \dots, k_n)} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) = O(t - t_p)^{2s}.$$

Сделаем преобразование (7); тогда система (6) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{dw_k}{dt} = & (\alpha^*)^\sigma \lambda_k w_k + (\alpha^*)^\sigma (t - t_p)^{2s} \sum_{j=1}^m \left[\tilde{a}_{kj} \left(t_p, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) + \frac{o_{lj}(t - t_p)^{2s}}{(t - t_p)^{2s}} + \right. \\ & \left. + \frac{\tilde{b}_{lj} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right)}{(t - t_p)^{2s} \alpha^{*\nu_{1kj}}} \right] w_j + \sum_{j=1}^m \tilde{h}_{lj}(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) w_j. \end{aligned} \quad (11)$$

Положив

$$w_k = z_k \exp [(\alpha^*)^\sigma \lambda_k (t - t_p)], \quad (12)$$

получим вместо (11)

$$\begin{aligned} \frac{dz_k}{dt} = & (\alpha^*)^\sigma (t - t_p)^{2s} \left[\sum_{j=1}^m \tilde{a}_{kj} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) + \frac{o_{kj} [(t - t_p)^{2s}]}{(t - t_p)^{2s}} + \right. \\ & \left. + \frac{\tilde{b}_{lj} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right)}{(t - t_p)^{2s} (\alpha^*)^{\nu_{2kj}}} \right] z_j + \sum_{j=1}^m \tilde{h}_{kj}(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) z_j. \end{aligned} \quad (13)$$

В (13) корни уравнения

$$\det \left\{ \left\| \tilde{a}_{kj} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) \right\| - E \right\} = 0 \quad (14)$$

совпадают при $t = t_p$ с корнями уравнения (10), следовательно, имеют отрицательную вещественную часть, не превосходящую $-\delta_0$; $|\tilde{h}_{kj}| < \tilde{B}$ при $\alpha^* > \alpha_0 > 0$; \tilde{B} — постоянная; $\tilde{b}_{lj} \left(t, \frac{\alpha_1}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n}{\alpha^*} \right) = O[(t - t_p)^{2s}]$.

Зафиксируем некоторую точку $Q_1 \left(\frac{\alpha_1^{**}}{\alpha^*}, \dots, \frac{\alpha_n^{**}}{\alpha^*} \right)$ в Δ . Тогда, следуя методике И. Г. Петровского (1), можно показать, что найдется такая окрестность Δ_1 точки Q_1 ($\Delta_1 \subset \Delta$), такое число $\alpha_0 \geq 1$ и столь малое $\delta > 0$, что для всех точек из Δ_1 при $|t - t_p| < \delta$ и $\alpha^* > \alpha_0$ будет выполняться неравенство

$$\sum_{j=1}^m |\omega_j(t, t_p - \delta)|^2 \leq M_1 \exp [-\delta_0 (\alpha^*)^\sigma \gamma_p] \sum_{j=1}^m |\omega_j(t_p - \delta, t_p - \delta)|^2. \quad (15)$$

Здесь $\gamma_p = \frac{1}{2s+1} [|(t - t_p)^{2s+1} + (\delta)^{2s+1}|]$, M_1 — постоянная.

В силу того, что определитель преобразования (7) больше $a > 0$, из 5) получим

$$\sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(t, t_p - \delta)|^2 \leq M_2 \exp[-\delta_0(\alpha^*)^\sigma \gamma_p] \sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(t_p - \delta, t_p - \delta)|^2; \quad (16)$$

I_2 — постоянная.

На тех участках изменения $t, t_\omega \leq t \leq t_{\omega+1}$, где система (1) просто параболическая, справедливы оценки И. Г. Петровского (1)

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(t, t_\omega, \alpha_1, \dots, \alpha_n)|^2 \leq \\ & \leq M_\omega \sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(t_\omega, t_\omega, \alpha_1, \dots, \alpha_n)|^2 \exp[-\delta_\omega(t - t_\omega)\alpha^*]; \end{aligned} \quad (17)$$

здесь δ_ω — некоторые положительные постоянные.

Из неравенств (16) и (17) найдем, что на любом отрезке $\tilde{t} \leq t \leq T$, $\tilde{t} < T$ в Δ_1 справедлива оценка

$$\sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(t, \tilde{t}, \alpha_1, \dots, \alpha_n)|^2 \leq M_3 \sum_{j=1}^m |\tilde{v}_j(\tilde{t}, \tilde{t}, \alpha_1, \dots, \alpha_n)|^2 \exp\{R\}, \quad (18)$$

где M_3 — постоянная, а R очевидным образом получается суммированием выражений, стоящих под знаком \exp в (16) и (17) (или их частей). Так

как $v_l^k = \tilde{v}_l^k(\alpha^*)^{-\sigma}$ и $v_l^k(\tilde{t}, \tilde{t}) = \delta_l^k(\delta_l^l = 1, \delta_l^k = 0 \text{ при } l \neq k)$, то из (18) получим

$$|v_l^k(t, \tilde{t}, \alpha_1, \dots, \alpha_n)| \leq C \exp\left\{\frac{R}{2}\right\}, \quad C = \text{const}. \quad (19)$$

Эти оценки сделаны при $\alpha^* > \alpha_0 > 0$, но они справедливы при всех α с той, быть может, константой, так как при $\alpha^* \leq \alpha_0$ $|v_l^k|$ ограничены.

Множество μ замкнуто, поэтому его можно покрыть конечной системой окрестностей Δ_1 . Следовательно, оценки вида (19) будут иметь место на всем μ , решения (3') будут удовлетворять условиям (А) И. Г. Петровского и задача Коши (1), (2) поставлена равномерно корректно в классе ограниченных функций.

Замечание 1. Условие в) можно заменить следующим: в') в точках t_0, \dots, t_p производные справа некоторого порядка s_1 от коэффициентов $\rho_\sigma(t, i\alpha)$ непрерывны справа, а производные низших порядков равны нулю.

Для производных слева в этих точках условие в) должно при этом остаться прежним, а условие д) должно формулироваться отдельно для производных справа и слева.

Замечание 2. Из оценки (19) с помощью результатов (2), §§ 7—9 легко получается, что однородная система, соответствующая системе (1), регулярна (определение регулярности см. в (3)); следовательно, для нее справедливы результаты, доказанные в статье (4).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
25 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Г. Петровский, Бюлл. МГУ, 1, в. 7 (1938) ² И. М. Гельфанд, Е. Шолов, Обобщенные функции, в. 2, 1958. ³ И. М. Гельфанд, Е. Шолов, Усп. матем. наук, 8, в. 6 (1953). ⁴ А. Г. Костюченко, Г. Е. Шолов, Усп. матем. наук, 9, в. 3 (1954).

Е. П. ДОЛЖЕНКО

ПОСТРОЕНИЕ НА НИГДЕ НЕ ПЛОТНОМ КОНТИНУУМЕ
НИГДЕ НЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ,
РАЗЛАГАЮЩЕЙСЯ В РЯД ПО РАЦИОНАЛЬНЫМ ФУНКЦИЯМ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 12 I 1959)

Если комплексная функция $f(z)$ на замкнутом множестве K с любой точностью может быть равномерно приближена аналитическими функциями, то во всякой внутренней точке K функция $f(z)$ necessarily дифференцируема (монотонна). Ранее считалось (см. ⁽¹⁾, стр. 51—52), что такие функции $f(z)$ обязаны иметь производную по множеству K не только в обычных внутренних точках, но и во всякой точке, вблизи которой рассматриваемое множество в каком-то смысле достаточно массивно; в частности, считалось, что существуют классы нигде не плотных континуумов K , на которых такие $f(z)$ почти всюду дифференцируемы. В некоторых работах (⁽²⁾, теорема 3) высказывались достаточные условия, наложенные на континуум K , чтобы $f(z)$ была почти всюду m раз дифференцируема по K . В этой заметке доказывается теорема, из которой следует ошибочность упомянутых выше утверждений.

Теорема. На любом нигде не плотном на комплексной плоскости континууме K можно определить (непрерывную) функцию $f(z)$ со свойствами 1) $f(z)$ разлагается в равномерно сходящийся на K ряд по рациональным функциям; 2) $f(z)$ не дифференцируема по K ни в одной точке $z \in K$.

Для простоты будем считать K лежащим внутри единичного квадрата $D = \{z: 0 \leq \operatorname{Re} z \leq 1; 0 \leq \operatorname{Im} z \leq 1\}$.

Лемма 1. Каково бы ни было натуральное число n , существует система открытых кругов σ_{np} ($p = 1, 2, \dots, p(n) < 3^{2n}$) с центрами, соответственно, в точках a_{np} такая, что: 1) круги σ_{np} не содержат точек K ; 2) граница каждого круга σ_{np} содержит некоторую точку $\zeta_{np} \in K$; 3) все σ_{np} имеют одинаковые радиусы $R_n < 3^{-n}$; 4) для любой точки $z_0 \in K$ найдется p_0 такое, что $3 \cdot 3^{-n} \leq |a_{np_0} - z_0| \leq 7 \cdot 3^{-n}$ (отсюда и из 3) имеем $2 \cdot 3^{-n} < |\zeta_{np_0} - z_0| < 8 \cdot 3^{-n}$); 5) если $p \neq q$, то расстояние между σ_{np} и σ_{mq} не меньше $2 \cdot 3^{-n}$; 6) круги σ_{np} и σ_{mq} при $n \neq m$ не имеют общих точек.

Лемма 2. Для функции $\phi(z) = 1 + \frac{r^2}{(2R + r - d)^2} \frac{z + \xi - 2a}{z - b}$, где $0 < |\xi - b| = d < r < R = |\xi - a|$, $b = \xi - d(\xi - a)/R$, справедливы соотношения: 1) при $z \in \{z: |z - a| \geq R\}$

$$1 \leq |\phi(z)| \leq 1 + \frac{2Rr^2}{d(2R + r - d)^2} = \phi(\xi);$$

2) при $z \in \{z: |z - a| \geq R; |z - b| \geq r\}$

$$1 \leq |\phi(z)| \leq 1 + \frac{r}{2R - r - d}.$$

Для доказательства леммы удобно рассмотреть преобразование

$$\omega = \frac{z - b}{z + \zeta - 2a}.$$

Построение функции $f(z)$. Фиксируем для каждого n семейству кругов σ_{np} , упомянутую в лемме 1, и положим*

$$E = \bigcap_{n=1}^{\infty} \bigcap_{p=1}^{p(n)} C \sigma_{np}. \quad (1)$$

Очевидно, $E \supset K$. Рассмотрим последовательность функций

$$\phi_0(z) = z, \quad \phi_{np}(z) = 1 + \frac{r_{np}^2}{(2R_n + r_{np} - d_{np})^2} \frac{z + \zeta_{np} - 2a_{np}}{z - b_{np}}, \quad (2)$$

$$(n = 1, 2, \dots; p = 1, 2, \dots, p(n)),$$

где R_n, a_{np}, ζ_{np} — числа, упомянутые в лемме 1, а числа r_{np}, d_{np}, b_{np} определяются следующим образом.

Обозначим

$$f_{np}(z) = \left(\prod_{m=1}^{n-1} \prod_{q=1}^{p(n-1)} \phi_{mq}(z) \right) \prod_{q=1}^p \phi_{nq}(z), \quad (3)$$

$$M_{np} = \max_{z \in E} \{ |f'_{np-1}(z)|, 1 \}. \quad (4)$$

где r_{np} определяется равенством

$$r_{np} = R_n / 3^{4n} M_{np}. \quad (5)$$

d_{np} находится из уравнения

$$\frac{2R_n r_{np}^2}{d_{np}(2R_n + r_{np} - d_{np})^2} - \frac{r_{np}}{2R_n + r_{np} - d_{np}} = \frac{1}{3^n} \quad (6)$$

и условии**

$$0 < d_{np} < r_{np} \quad (r_{np} < 3^{-4n}). \quad (7)$$

Далее:

$$b_{np} = \zeta_{np} - \frac{d_{np}}{R_n} (\zeta_{np} - a_{np}) \quad (b_{np} \in \sigma_{np}). \quad (7')$$

Положим

$$S_n(z) = \prod_{p=1}^{p(n)} \phi_{np}(z). \quad (8)$$

Лемма 3. Какова бы ни была строго возрастающая последовательность натуральных чисел $\{n_1, n_2, \dots, n_k, \dots\} = \alpha$, бесконечное произведение

$$\prod_{k=1}^{\infty} S_{n_k}(z) \quad (8')$$

Е сходится абсолютно и равномерно, т. е.

$$f_{\alpha}(z) = \prod_{k=1}^{\infty} S_{n_k}(z) \quad (8'')$$

* $C \sigma_{np}$ обозначает, как обычно, дополнение к σ_{np} в комплексной плоскости.

** Такое d_{np} существует, ибо левая часть (6) непрерывна по d_{np} на $(0, r_{np}]$, обращается в нуль при $d_{np} = r_{np}$ и стремится к бесконечности при $d_{np} \rightarrow 0 +$.

непрерывна на E и может быть разложена в равномерно сходящийся на $E \supset K$ ряд рациональных дробей.

Доказательство. На основании предыдущего имеем оценку

$$1 \leq |S_n(z)| < e^{3^{-n}} e^{2^{-1} 3^{-2n}} \quad (z \in E \supset K, n = 1, 2, \dots). \quad (10)$$

Отсюда получаем оценку для остатка $L_m^{(\alpha)}$ бесконечного произведения (8') ($z \in E$):

$$\begin{aligned} 1 \leq \left| \prod_{k=m+1}^{\infty} S_{n_k}(z) \right| &= L_m^{(\alpha)} < \exp \left\{ \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{1}{3^{n_k}} + \frac{1}{2} \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{1}{3^{2n_k}} \right\} \leq \\ &\leq \exp \left\{ \frac{1}{2} \frac{1}{3^{n_m}} + \frac{1}{16} \frac{1}{3^{2n_m}} \right\}, \end{aligned}$$

т. е.

$$1 \leq L_m^{(\alpha)} \leq 1 + \frac{1}{2} \frac{2}{3^{n_m}} + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right), \quad (11)$$

что и доказывает лемму 3.

При $m = 0$ имеем

$$1 \leq |f_{\alpha}(z)| < \exp \{1/2 + 1/16\} < 9/5. \quad (12)$$

Лемма 4. Функция $f_{\alpha}(z)$ (см. лемму 3) не дифференцируема по множеству K ни в одной точке $z \in K$.

Доказательство. Пусть z_0 — произвольная фиксированная точка K . По свойству 4) (лемма 1) системы кругов σ_{np} при каждом натуральном n_m найдется точка $\zeta_{n_m p_0} \in K$ такая, что

$$2 \cdot 3^{-n_m} \leq |z_0 - \zeta_{n_m p_0}| \leq 8 \cdot 3^{-n_m}. \quad (13)$$

Так как $\zeta_{n_m p_0}$ находится внутри $\delta_{n_m p_0}$: $|b_{n_m p_0} - z| = r_{n_m p_0}$ (см. (7')), z_0 вне этого круга и K связно, то на границе $\delta_{n_m p_0}$ найдется точка $\eta_{n_m p_0} \in K$.

т. е.

$$\eta_{n_m p_0} \in K; \quad |b_{n_m p_0} - \eta_{n_m p_0}| = r_{n_m p_0}; \quad |\zeta_{n_m p_0} - \eta_{n_m p_0}| < 2r_{n_m p_0} = o(3^{-n_m}). \quad (14)$$

Оценим разность

$$T_{n_m} = |f_{\alpha}(\zeta_{n_m p_0})| - |f_{\alpha}(\eta_{n_m p_0})|. \quad (15)$$

Положив $\zeta_{n_m p_0} = \zeta$, $\eta_{n_m p_0} = \eta$, имеем (см. (10), (11))

$$\begin{aligned} T_{n_k} &= \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\zeta)| \cdot \prod_{k=m+1}^{\infty} |S_{n_k}(\zeta)| - \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\eta)| \cdot \prod_{k=m+1}^{\infty} |S_{n_k}(\eta)| \geq \\ &\geq \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\zeta)| - \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\eta)| \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \frac{1}{3^{n_m}} + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right) \right] \geq \\ &\geq V - \frac{9}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3^{n_m}} + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right), \end{aligned}$$

где

$$V = \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\zeta)| - \prod_{k=1}^m |S_{n_k}(\eta)|.$$

Нетрудно видеть, приняв во внимание пункты 5) и 6) леммы 1, что любые две точки ζ и $\eta \in K$ можно соединить кривой, принадлежащей E , имеющей

ей длину не большую, чем $\pi|\zeta - \eta|$, состоящей из точек отрезка $[\zeta, \eta]$ дуг границ δ_{np} . Поэтому (см. (3), (4), (5) и (13))

$$0 \leq |f_{n_m p_0-1}(\zeta)| - |f_{n_m p_0-1}(\eta)| \leq |f_{n_m p_0-1}(\zeta) - f_{n_m p_0-1}(\eta)| <$$

$$< M_{n_m p_0} \pi \cdot 2r_{n_m} \leq \frac{2\pi R_{n_m}}{3^{4n_m}} = o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right),$$

V оценивается следующим образом (см. лемму 2 и (13)):

$$\begin{aligned} V &= |f_{n_m p_0-1}(\zeta)| \cdot |\phi_{n_m p_0}(\zeta)| \prod_{\substack{p=p_0+1 \\ p(n_m)}}^{p(n_m)} |\phi_{n_m p_0}(\zeta)| - \\ &- |f_{n_m p_0-1}(\eta)| \cdot |\phi_{n_m p_0}(\eta)| \prod_{\substack{p=p_0+1 \\ p(n_m)}}^{p(n_m)} |\phi_{n_m p_0}(\eta)| \geq \\ &\geq \left[|f_{n_m p_0-1}(\eta)| + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right) \right] |\phi_{n_m p_0}(\zeta)| - \\ &- |f_{n_m p_0-1}(\eta)| \cdot |\phi_{n_m p_0}(\eta)| \prod_{\substack{p=p_0+1 \\ p(n_m)}}^{p(n_m)} \left(1 + \frac{r_{n_m p}}{2R_{n_m} + r_{n_m p_0} - d_{n_m p_0}} \right) \geq \\ &\geq |f_{n_m p_0-1}(\eta)| [|\phi_{n_m p_0}(\zeta)| - |\phi_{n_m p_0}(\eta)|] + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right). \end{aligned}$$

Так как $|f_{n_m p_0-1}(\eta)| \geq 1$ и $|\phi_{n_m p_0}(\eta)| - |\phi_{n_m p_0}(\eta)| \geq 3^{-n_m}$ (см. лемму 2,) и (13)), то, окончательно, имеем:

$$|f_\alpha(\zeta)| - |f_\alpha(\eta)| \geq \frac{1}{10} \frac{1}{3^{n_m}} + o\left(\frac{1}{3^{n_m}}\right). \quad (15)$$

Легко показать, что если комплексная функция $\varphi(z)$ в точке z_0 множества K имеет производную по множеству K , ξ и η принадлежат K , $\rightarrow z_0$ и $|\xi - \eta| = o(|\xi - z_0|)$, то $|\varphi(\xi)| - |\varphi(\eta)| = o(|\xi - z_0|)$. Принимая во внимание, заключаем из (12), (13) и (15), что в точке z_0 функция $f(z)$ не дифференцируема по множеству K .

Как следствие лемм 3 и 4 получаем сформулированную в начале за- етки теорему.

Замечание 1. Теорема остается справедливой, если K — произ- ольное нигде не плотное на комплексной плоскости множество. При этом следует только заметить, что понятие производной этом случае имеет смысл лишь в предельной точке множества. Доказа- ельство этого получается ценой незначительного усложнения выбора исл r_{np} при построении функций $\phi_{np}(z)$.

Замечание 2. Пусть $K = [0, 1]$. Беря последовательность α до- аточно быстро возрастающей, получим на $[0, 1]$ нигде не дифференци- уемую функцию $f(x)$, приближаемую рациональными со скоростью $1/n$.

Замечание 3. Можно наложить на континуум K условия, при вы- олнении которых равномерный на K предел рациональных функций имеет очти везде на K асимптотические производные до m -го порядка, причем з равномерной сходимости на K рациональных функций $f_n(z)$ к $f(z)$ сле- ует сходимость почти везде на K производных $f'_n(z)$ до m -го порядка ключительно к соответствующим асимптотическим производным $f'(z)$.

Замечание 4. Из доказательства теоремы следует, что обычная ифференцируемость $f(z)$ в каких-либо точках K , отличных от внутрен- их, не является необходимым условием для того, чтобы $f(z)$ равно- ерно приближалась на K рациональными функциями.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. Н. Мергелян, Усп. матем. наук, **7**, в. 2 (48) (1952). ² А. Селезнев, АН, **108**, № 4 (1956).

Н. Н. МЕЙМАН

К ТЕОРИИ ФУНКЦИЙ КЛАССОВ NB И B

(Представлено академиком Л. С. Понтрягиным 26 XII 1958)

1⁰. Пусть $\omega(z)$ и $f(z)$ — две допустимые* в некоторой области \mathfrak{G} (или $\tilde{\mathfrak{G}}$) функции. Рассмотрим семейство допустимых функций $\omega(z) - tf(z)$ с комплексным параметром t . Обозначим через T образ границы \mathfrak{G} (соответственно $\tilde{\mathfrak{G}}$) в t -плоскости при преобразовании $t = \omega(z) : f(z)$, а через \bar{T} — замыкание множества T . Рассуждения, аналогичные изложенным в монографии (2) (стр. 248 и дальше), доказывают, что \bar{T} разбивает плоскость t на такие области D , что для всех t , лежащих в одной и той же области D и отличных от асимптотических значений функции $\omega(z) : f(z)$ в \mathfrak{G} (соответственно в $\tilde{\mathfrak{G}}$) функции $\omega(z) - tf(z)$ имеют в области \mathfrak{G} (соответственно $\tilde{\mathfrak{G}}$) одно и то же число нулей. Для исключительных значений t , равных асимптотическим значениям функции $\omega(z) : f(z)$, некоторые нули теряются и «уходят на бесконечность». Если пересечение области \mathfrak{G} с окрестностью точки $z = \infty$ разбивается на k отдельных областей и хотя бы для трех значений параметра t функции $\omega(z) - tf(z)$ имеют в \mathfrak{G} конечное число нулей, то число асимптотических значений $\omega(z) : f(z)$ в \mathfrak{G} не более k .

Если вдоль границы \mathfrak{G} ($\tilde{\mathfrak{G}}$) $|f(z)| \leq |\omega(z)|$, то единичный круг $|t| < 1$ целиком лежит внутри одной из областей D . Если кроме того известно, что при $\rho(z) \rightarrow \infty$ (см. (1)) отношение $|\omega(z) : f(z)| > \delta > 0$, то $t = 0$ не является исключительной точкой и функция $\omega(z) - tf(z)$ при $|t| < 1$ имеет не больше нулей, чем функция $\omega(z)$.

Теорема 1. Пусть $\omega(z)$ — функция класса B в \mathfrak{G} (или $\tilde{\mathfrak{G}}$), а $f(z)$ — допустимая в этой области функция, вдоль границы области $|f(z)| \leq |\omega(z)|$ и при любом $\eta > 0$ $|f(z) : \omega(z)| < 1 + \eta$, $|\bar{f}(z) : \omega(z)| < 1 + \eta$ при $\rho(z) > R(\eta)$. Тогда при любом $|t| < 1$ функция $\omega(z) - tf(z) \in B$ в \mathfrak{G} (или $\tilde{\mathfrak{G}}$) и число нулей этой функции равно числу нулей функции $\omega(z)$.

Примечание. В силу теоремы 1 из (1) условие $|f(z) : \omega(z)| < 1 + \eta$ при $\rho(z) > R(\eta)$ можно заменить условием $|f(z) : \omega(z)| < M_\varepsilon |e^{-i\varepsilon\tau(z)}$ при $\rho(z) > R_\varepsilon(M_\varepsilon)$, $z \in \mathfrak{G}$, где $\tau(z)$ — некоторая функция типа, определенного в (1). В дальнейших теоремах мы всегда будем указывать более грубое условие, помня, что критерием выполнимости этого грубого условия является значительно более широкое условие теоремы 1 из (1).

Положительное направление на границе \mathfrak{G} индуцирует положительное направление на кривой T . Индекс пересечения в некоторой точке пересечения кривой Γ с кривой T равен $+1$, если в окрестности этой точки кривая Γ переходит с правой стороны T на левую, и -1 в обратном случае.

* Все обозначения и определения те же, что и в работе (1).

Пусть кривая Γ , соединяющая точки t_0 и t_1 , не содержит асимптотических значений функции $\omega(z):f(z)$; тогда, если функции $\omega(z)$ и $f(z)$ опустимы в \mathfrak{G} и принимают в соответствующих точках обоих берегов раницы сопряженные значения, а также в особом случае (см. (1)) справедлива:

Теорема 2. Пусть в ν точках пересечения дуги Γ с T индекс пересечения отрицателен, а в μ точках положителен ($\nu + \mu < +\infty$). Тогда при изменении параметра вдоль дуги Γ функция $\omega(z) - t\bar{f}(z)$ теряет ν корней и приобретает μ корней, а функция $\bar{\omega}(z) - \bar{t}f(z)$ теряет μ корней и приобретает ν корней.

20. Для различных приложений теории важна следующая конструкция, позволяющая по функции класса HB в полуплоскости строить функции классов HB и B в областях типа \mathfrak{G}_β . Пусть γ — такая система открытых интервалов вещественной оси $\gamma^\nu = (x_{-1}^\nu, x_{+1}^\nu)$, $\nu = 0, \pm 1, \dots$; $\nu > 0$, если $x_{-1}^\nu > 0$; $\nu < 0$, если $x_{+1}^\nu < 0$; $\nu = 0$, если $x_{-1}^\nu x_{+1}^\nu < 0$, что дополнительные промежутки образуют β -систему. Относительно функции $\omega(z) = u(z) + i v(z)$ класса HB в $\text{Im } z > 0$ предположим, что мнимая компонента $v(z)$ имеет хотя бы по одному нулю x_0^ν в каждом интервале γ^ν и $u(x)$ отлична от нуля в концах интервалов γ . Функцию

$$\left[\left(1 - \frac{z}{x_{-1}^\nu} \right) \left(1 - \frac{z}{x_{+1}^\nu} \right) \right]^{1/2} : \left(1 - \frac{z}{x_0^\nu} \right) = \gamma^\nu(z)$$

для γ^0 эту функцию нужно заменить функцией $V \sqrt{(z - x_{-1}^0)(z - x_{+1}^0)} : (z - x_0^0)$ можно так определить, что эта функция вещественна и положительна вдоль верхних берегов разрезов β и отрицательна вдоль нижних берегов. Введем функцию

$$\omega_{\gamma,A}(z) = u(z) + i A v(z) \prod_\nu \gamma^\nu(z) = u(z) + i A v_1(z), A > 0. \quad (1)$$

Сходимость бесконечного произведения в случае, когда число промежутков γ^ν бесконечно, легко доказывается. Функция $\omega_{\gamma,A}(z)$ ассоциирована (см. (1)) с областью \mathfrak{G}_β . Обозначим число нулей функции $u(z)$ в открытом промежутке γ^ν через α^ν . Можно подсчитать, что индексы S_0 и S_∞ функции $\omega_{\gamma,A}(z)$ равны $\sum_\nu \alpha^\nu$. Если $\sum_\nu \alpha^\nu < \infty$, то из теоремы 4 работы (4)

можно получить, что $\omega_{\gamma,A} \in B$, поэтому (см. теорему 5* из (1)) имеет место:

Теорема 3. Число нулей функции $\omega_{\gamma,A}(z)$ в области \mathfrak{G}_β равно $\sum_\nu \alpha^\nu$. Необходимое и достаточное условие принадлежности функции $\omega_{\gamma,A}(z)$ классу B в \mathfrak{G}_β состоит в неравенстве $\sum_\nu \alpha^\nu < +\infty$. Необходимое и достаточное условие принадлежности классу HB состоит в равенстве всех α^ν нулю.

Примечание 1. Если полубесконечный интервал $(-\infty, x_{+1})$ или $(x_{-1}, +\infty)$ является γ -интервалом, то соответствующий множитель функции $v_1(z)$ имеет вид $V \sqrt{z - x_{+1}} : (z - x_0)$ и $V \sqrt{(z - x_{-1})} : (z - x_0)$. Вклад в S_∞ от такого интервала по-прежнему равен α^ν , а вклад в S_0 равен либо α^ν , либо $\alpha^\nu - 1$.

Примечание 2. Если функция $u(z)$ обращается в нуль в концах промежутков $\gamma^{v_1}, \dots, \gamma^{v_k}$, то теорема 3 остается в силе для функции

$$\omega_{\gamma,A}(z) : \left[\left(1 - \frac{z}{x_{-1}^{v_1}} \right) \left(1 - \frac{z}{x_{+1}^{v_1}} \right) \dots \left(1 - \frac{z}{x_{-1}^{v_k}} \right) \left(1 - \frac{z}{x_{+1}^{v_k}} \right) \right]^{1/2}.$$

Пример 1. Пусть $\omega(z) = e^{-i\sigma z}$ и γ состоит из $\gamma^0 = (-c/\sigma, c/\sigma)$; тогда \mathbb{G}_β — плоскость с разрезами $(-\infty, -c/\sigma]$ и $[c/\sigma, +\infty)$, $\omega_{\gamma, A}(z) = \cos \sigma z - i \sqrt{z^2 - (c/\sigma)^2} \frac{\sin \sigma z}{z}$, $\sqrt{-(c/\sigma)^2} = ic/\sigma$ и $\alpha^0 = 2 \left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right]$; если $c < \pi/2\sigma$ то $\omega_{\gamma, A}(z) \in HB(\mathbb{G}_\beta)$. Если перейти к переменной $\zeta = [z^2 - (c/\sigma)^2]$ то найдем, что число нулей функции $\hat{\omega}_A(z) = \cos \sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2} - i\sigma A \zeta$

$$\frac{\sin \sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2}}{\sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2}} \text{ в } \operatorname{Im} \zeta > 0 \text{ равно } \frac{\alpha_0}{2} = \left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right].$$

Пример 2. Пусть $f(z)$ — допустимая в \mathbb{G}_β функция, на разрезах β вещественна и ≤ 1 по модулю, а при $z \rightarrow \infty$ $|f(z)| < e^{(\sigma+\varepsilon)|z|}$ при любом $\varepsilon > 0$. Если $f(\pm c/\sigma) = \cos c$, то при $\sigma c < \pi$ функция $[\omega_{\gamma, A}(z) - f(z)] : \sqrt{z^2 - (c/\sigma)^2} = -i \left(A \frac{\sin \sigma z}{z} + i \frac{\cos \sigma z - f(z)}{\sqrt{z^2 - (c/\sigma)^2}} \right)$ принадлежит классу $HB(\mathbb{G}_\beta)$. Если

$f(z)$ — целая четная функция, то целая функция $A \frac{\sin \sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2}}{\sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2}} + i \frac{\cos \sqrt{\sigma^2 \zeta^2 + c^2} - f(\sqrt{\zeta^2 + (c/\sigma^2)})}{\zeta} \in HB$ в $\operatorname{Im} \zeta > 0$.

Пример 3. Пусть $\omega(z) \in HB$ в $\operatorname{Im} z > 0$, γ состоит из конечного числа ограниченных интервалов и $f(z)$ — допустимая в \mathbb{G}_β функция, удовлетворяющая следующим условиям: 1) $|f(x)| < |\omega(x)|$, $x \in \beta$; 2) $|f(x_{\pm 1}^v)| < |u(x_{\pm 1}^v)|$; 3) $|f(z) : \omega(z)| < 1$ и $|\bar{f}(z) : \omega(z)| < 1$ в $z \in \mathbb{G}_\beta$, $\operatorname{Im} z > 0$ (см. примеч. в теореме 1). Пусть функция $u(z)$ не имеет нулей в γ ; тогда $\omega_{\gamma, A}(z) \in HB(\mathbb{G}_\beta)$. Из условий 1) и 2) следует, что при достаточно большом A $|f(x)| < |\omega_{\gamma, A}(x)|$, $x \in \beta$ и $|f(z) : \omega_{\gamma, A}(z)| < 1$, $|\bar{f}(z) : \omega_{\gamma, A}(z)| < 1$. Из теоремы 1 следует, что при $|t| \leq A$ функция $\omega_{\gamma, A}(z) - tf(z) \in HB(\mathbb{G}_\beta)$. В частности, если $f(z)$ — вещественная функция, все нули функции $u(z) - f(z)$ для любой ветви функции $f(z)$ лежат на β и строго перемежаются с нулями функции $v_1(z)$.

3°. Пусть γ состоит из одного интервала $\gamma^0 = (-c, c)$. Через a_{-1} обозначим ближайший слева от $-c$ нуль функции $v(z)$, через a_{+1} — ближайший к c справа нуль функции $v(z)$ ($\omega(z) = u(z) + iv(z) \in HB$ в $\operatorname{Im} z > 0$). Функции $\zeta = \sqrt{z^2 - c^2}$ и $z = \sqrt{\zeta^2 + c^2}$ взаимно-однозначно отображают друг на друга область \mathbb{G}_β и двухлистную риманову поверхность \mathfrak{H} , распространяемую над полуплоскостью $\operatorname{Im} \zeta > 0$ с точкой ветвления над точкой $\zeta = ic$. Пусть $f(\zeta)$ — допустимая на \mathfrak{H} функция, вещественная на оси $\operatorname{Im} \zeta = 0$. Через \mathfrak{H} обозначим поверхность с краем: $\operatorname{Im} \zeta \geq 0$. Пусть $|f(\zeta(x))| < |\omega(x)|$ при $x \in \beta$ и $|f(\zeta(z)) : \omega(z)| < 1$ при $z \rightarrow \infty$, $\operatorname{Im} z > 0$ (см. примечание к теореме 1). Тогда при $A > 1$ $|f(\zeta(z)) : \omega_{\gamma, A}(z)| < 1$ при $z \rightarrow \infty$ в \mathbb{G}_β . В двух соседних нулях функции $v(z)$ вне γ^0 функция $u(z)$ имеет разные знаки, на верхнем и нижнем берегах такого интервала $u(z) - f(z)$ имеет по крайней мере по одному нулю, которые будем называть тривиальными.

Теорема 4. Число нетривиальных нулей функции $u[z(\zeta)] - f(\zeta)$ на поверхности \mathfrak{H} равно $2(\alpha^0 + \delta_{-1} + \delta_{+1}) - r$, где $\delta_i = 0$, если $u(a_i)u(c) > 0$; $\delta_i = 1$, если $u(a_i)u(c) < 0$, $i = \pm 1$, а r — число комплексных нулей функции $u[z(\zeta)] - f(\zeta)$ на поверхности \mathfrak{H} . Число вещественных нетривиальных нулей равно $2(\alpha^0 + \delta_{-1} + \delta_{+1}) - 2r$.

Следствие 1. Для числа 2μ нетривиальных нулей функции $u[\zeta(z)] - f(\zeta)$ на поверхности \mathfrak{H} справедлива двухсторонняя оценка

$$\alpha^0 + 2(\eta_{-1} + \eta_{+1}) \leq 2\mu \leq 2(\alpha^0 + \delta_{-1} + \delta_{+1}), \quad (2)$$

где $\eta_i = 1$, если $0 < u(x_i) : f(x_i) < 1$ и $\eta_i = \delta_i$ при $u(x_i) : f(x_i) < 0$ и $u(x_i) : f(x_i) > 1$.

Пример. Пусть $\omega(z) = e^{-i\sigma z}$ и $f(\zeta)$ — целая вещественная функция роста не выше первого порядка типа σ и ≤ 1 по модулю на вещественной оси.

В этом случае $\alpha^0 = \left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right]$ и число μ нетривиальных нулей целой функции $\cos \sigma \sqrt{\zeta^2 + c^2} - f(\zeta)$ в полуплоскости $\operatorname{Im} \zeta \geq 0$ равно $\left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right] + \delta_{-1} + \delta_{+1} - r/2$, где $r/2$ — число нулей в $\operatorname{Im} \zeta > 0$. Если k — наименьшее целое число $\geq \sigma c : \pi$, то:

$$\left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right] + 2 \leq \mu \leq 2k, \text{ если } k\pi - \sigma c > \frac{\pi}{2} \text{ или } 0 < \frac{\cos \sigma c}{f(0)} < 1; \quad (3)$$

$$\left[\frac{2\sigma c + \pi}{2\pi} \right] \leq \mu \leq 2k, \text{ если } k\pi - \sigma c < \frac{\pi}{2}, \frac{\cos \sigma c}{f(0)} < 0 \text{ или } \frac{\cos \sigma c}{f(0)} > 1 \quad (3')$$

оценка сверху $\mu \leq 2k$ принадлежит Хермандеру ⁽³⁾.

Пусть вещественные числа $\xi_0, \eta_0, \beta, t_0$ ($0 < \eta_0 < t_0$) связаны соотношением $(it_0 - \beta)^2 + c^2 = (\xi_0 + i\eta_0)^2$ или $\beta t_0 = -\xi_0 \eta_0, c^2 = (\xi_0^2 + t_0^2) \left(1 - \frac{\eta_0^2}{t_0^2} \right)$ и

функции $f(\zeta - \beta)$ и $\omega(z)$ удовлетворяют условиям теоремы 4 с той разницей, что теперь $z^2 = (\zeta - \beta)^2 + c^2$.

Следствие 2. Пусть интервал $(-c, c)$ содержит точно один корень функции $v(z)$ и $f(it_0) = u(\xi_0 + i\eta_0)$. Тогда на обоих берегах интервалов $[-1, -c]$ и $[c, a_{+1}]$ $\operatorname{sign} \{u(z) - f[\zeta(z)]\} = -\operatorname{sign} \{u(a_1) - f[\zeta(a_1)]\}$. Заметим, что $u(z) - f[\zeta(z)] \equiv u[\sqrt{(\zeta - \beta)^2 + c^2}] - f(\zeta)$.

Примечание. Если $|f(\zeta) : \omega(\zeta + \xi_0)| < 1$ на \Re и $\omega(\zeta + \xi_0) < \omega(k\zeta + \xi_0)$ при $k > 1, \operatorname{Im} \zeta > 0$, (см. ⁽⁴⁾) и в углу $\varepsilon < \arg z < \pi - \varepsilon, |\omega(\zeta + \xi_0) : \omega(k\zeta + \xi_0)| = o(|\zeta|^{-1})$, то из равенства $f(it_0) = u(\xi_0 + i\eta_0)$ следует $\eta_0 \leq t_0$ и в случае равенства $\eta_0 = t_0, f(\zeta) \equiv u(\zeta + \xi_0)$.

Если $|\omega(x)| \equiv \text{const}$, то из неравенства $v'u - u'v > 0$ и равенства $uv' + vv' = 0$ следует, что вещественные нули $u(x)$ совпадают с нулями $v(x)$ и между двумя нулями $v(x)$ функция $u(x)$ монотонно меняется. Это дает возможность доказать следующую теорему.

Теорема 5. Пусть $|\omega(x)| \equiv \text{const}$ на вещественной оси и на одном листе $f(0) = u(-c)$, а на другом $f(0) = u(c)$. Тогда равенство $f(\zeta) = u(x_0)$, где x_0 — нуль функции $v(x)$ в $(-c, c)$, невозможно при $|\zeta| \leq c$.

Эти предложения были получены Хермандером ⁽³⁾ для случая, когда $\omega(z) = e^{-i\sigma z}$ и $f(\zeta)$ — целая функция.

Институт теоретической и экспериментальной физики
Академии наук СССР

Поступило
25 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Мейман, ДАН, 124, № 6 (1959). ² Н. Г. Чеботарев, Н. Н. Мейман, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, 19 (1949). ³ L. Hermander, Math. Scand., 3, 1 (1955). ⁴ Н. Н. Мейман, ДАН, 120, № 6 (1958).

* В примере 1 из ⁽¹⁾ опущено условие, что при $z \rightarrow \infty \lim [\bar{f}(z) : f(z)] \neq \infty$. Только при этом условии $f(z) \in B$ и справедливы все утверждения, приведенные в примере.

Е. Ф. РАЗУМОВА

МНОЖЕСТВО ТОЧЕК ВЕТВЛЕНИЯ ПРИ НЕЕДИНСТВЕННОСТИ В ОДНУ СТОРОНУ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 13 X 1958)

§ 1. Множество траекторий с ветвлением. В одной связной плоской области σ с кусочно-гладкой границей задана динамическая система

$$\frac{dx}{dt} = X(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = Y(x, y),$$

определяющая непрерывное векторное поле без особых точек. Заметим, что в этом случае любая траектория выходит обоими концами на границу области и имеет конечную временную длину.

Пусть некоторой точке траектории, лежащей в σ , поставлено в соответствие значение параметра системы. Тогда на этой траектории найдутся две точки, которые лежат на границе области и которым соответствуют наименьшее и наибольшее значения параметра t .

О п р е д е л е н и я. Точку траектории, лежащую на границе области σ и соответствующую наименьшему значению параметра t , назовем т о ч к о й в х о д а траектории в σ , а точку, соответствующую наибольшему значению параметра, — т о ч к о й в ы х о д а интегральной кривой из σ .

Будем говорить, что в области σ имеет место н е е д и н с т в е н н о с т ь в о д н у с т о р о н у, если ветвление интегральных кривых происходит только в сторону возрастания (или только в сторону убывания) параметра системы. Не ограничивая общности, можно считать, что при неединственности в одну сторону в любой точке Пеано, принадлежащей области, ветвление происходит лишь в направлении поля в этой точке. Итак, в области имеем систему (1) с неединственностью в сторону возрастания параметра t .

Пусть из точки C выходит более одной траектории. Тогда, как известно, множество выходящих из C траекторий имеет мощность континуума и заполняет всю область между граничными интегралами, выходящими из C .

Множество всех интегральных кривых, выходящих из точки C в направлении поля в этой точке, назовем интегральной воронкой (или просто воронкой) с вершиной C . Интегральную кривую, идущую от вершины воронки в сторону убывания параметра системы до точки входа в область σ , назовем исходной кривой воронки. Легко видеть, что исходная кривая воронки является единственной (в силу ветвления в одну сторону).

Две точки ветвления будем называть лежащими на разных траекториях, если через эти точки нельзя провести ни одной траектории.

Две траектории с точками ветвления назовем разными траекториями с ветвлением, если на каждой из них есть по крайней мере одна точка ветвления, не принадлежащая другой.

Для динамической системы (1) с неединственностью в одну сторону имеют место следующие предложения:

Лемма 1. Две воронки не пересекаются, если вершина одной из них не принадлежит другой. В частности, две воронки не пересекаются, если их вершины лежат на разных траекториях.

Лемма 2. Может быть не более чем счетное множество воронок, вершина каждой из которых не принадлежит ни одной из остальных. В частности, множество воронок, вершины которых лежат на разных траекториях, не более чем счетно.

Теорема 1. Можно выбрать такое счетное множество траекторий, что на них будут лежать все точки ветвления. Для всякой совокупности S разных траекторий найдется такое счетное множество T траекторий, что всякая точка, принадлежащая некоторой траектории из S , принадлежит какой-то траектории из T .

Следствие. Разные траектории с ветвлением не могут покрывать область.

Замечание. В общем случае неединственности (когда ветвление возможно в обе стороны) вся область может состоять из точек ветвления (пример М. А. Лаврентьева).

Определение. Воронка называется максимальной, если она содержится в области $\bar{\sigma}$ и не содержится ни в какой другой воронке.

Из сформулированной выше теоремы следует, что в области $\bar{\sigma}$ может быть самое большое счетное множество максимальных воронок. Пусть по крайней мере у одной из граничных траекторий любой максимальной воронки есть точки, лежащие строго внутри области σ , т. е. область $\bar{\sigma}$ не совпадает с какой-нибудь одной воронкой. Тогда имеют место теоремы 2 и 3.

Теорема 2. В любой близости от максимальной воронки имеется по крайней мере одна траектория, на которой нет точек ветвления (регулярное решение).

Теорема 3. В любой близости от максимальной воронки имеется континуум регулярных решений.

Следствие 1. Траектории с ветвлением не могут заполнять всю область $\bar{\sigma}$, не совпадающую с какой-нибудь воронкой, так как вне максимальных воронок в $\bar{\sigma}$ имеется континуум регулярных решений.

Следствие 2. Если в области σ имеется лишь конечное множество максимальных воронок, то между каждыми двумя соседними воронками имеется полоса единственности, т. е. регулярная подобласть.

Следствие 3. Множество точек входа интегральных кривых в односвязную область, не совпадающую с одной воронкой, имеет мощность континуума. При этом множество точек входа исходных кривых воронок является не более, чем счетным, а множество точек входа регулярных решений имеет мощность континуума.

Замечание. В общем случае неединственности множество точек входа траекторий в область, а также множество точек выхода их на границу может сводиться даже к одной точке.

Для отдельной воронки справедлива теорема 4, аналогичная теоремам 2 и 3.

Теорема 4. Если в воронке нет траектории с множеством точек ветвления, для которого вершина воронки является левой предельной точкой (в сторону убывания t), то из C выходит континуум траекторий, не имеющих точек ветвления после C в сторону возрастания t . В частности, имеется континуум траекторий с одной лишь точкой ветвления C , если C — вершина максимальной воронки.

§ 2. Множество точек ветвления, расположенных на одной траектории. Для выяснения возможной структуры множества точек ветвления при неединственности в одну сторону важно изучить структуру этого множества на одной траектории с ветвлением.

Теорема 5. Для того чтобы множество точек, расположенных на одной траектории, было множеством точек ветвления при неединственности в сторону возрастания t , необходимо и достаточно, чтобы оно было замкнуто влево, т. е. в сторону убывания t .

Следствие 1. На каждой траектории с ветвлением есть первая точка ветвления.

Следствие 2. Если имеется счетное множество точек ветвления плотное на куске интегральной кривой, то и все точки куска траектории будут точками ветвления, за исключением, быть может, его правого конца.

Для рассматриваемого случая характерна также теорема 6.

Теорема 6. Если на гладкой кривой имеется континуум точек ветвления, то в каждой его точке конденсации направление кривой совпадает с направлением поля в этой точке.

В частности:

Теорема 7. Всякая компонента множества точек ветвления (связный континуум точек ветвления) принадлежит одной из траекторий.

§ 3. Совокупность точек ветвления как двумерное множество.

Теорема 7. Если последовательность дуг траекторий сходится к дуге интегральной кривой и ни одна из дуг последовательности не впадает в предельную дугу, за исключением, быть может, ее начальной точки, то на предельной дуге ветвление может происходить лишь по ту сторону от нее, где нет бесконечного множества членов последовательности.

Следствие 1. Если траектория с ветвлением является предельной для последовательности интегральных кривых, расположенных со стороны ее ветвления, то, начиная с некоторого номера n , кривые последовательности впадают в эту траекторию. Если на предельной траектории более одной точки ветвления, то с увеличением n точка впадения продвигается по предельной кривой в сторону возрастания t .

Следствие 2. Множество интегральных кривых воронки с вершиной C , которые являются разными траекториями с ветвлением и попарно имеют в качестве общей точки лишь точку C , не может быть плотным в этой воронке. В частности, множество дуг ветвления (т. е. множество компонент совокупности точек ветвления), выходящих из одной точки, не может быть плотным в воронке с вершиной в этой точке.

Возможное взаимное расположение максимальных воронок в области характеризуется следующей теоремой:

Теорема 8. Для того чтобы множество максимальных воронок было всюду плотно в области $\bar{\sigma}$, достаточно, чтобы оно было плотно в сколь угодно малой окрестности множества точек входа траекторий в эту область.

Особый интерес представляет:

Теорема 9. Произвольное двумерное счетное множество точек в области $\bar{\sigma}$ может быть множеством точек ветвления траекторий некоторой динамической системы с неединственностью в одну сторону.

Из этого предложения, в частности, вытекает, что счетное всюду плотное в $\bar{\sigma}$ множество точек может быть множеством точек ветвления при неединственности в одну сторону.

В связи с изложенным становится очевидным, что множество точек ветвления может быть плотным вблизи смежного интервала или полуинтервала к множеству точек ветвления, расположенных на некоторой траектории, а также вблизи предельной точки такого множества, в частности вблизи точки конденсации, и, как следствие, вблизи дуги ветвления. Множество компонент совокупности точек ветвления (множество дуг ветвления) может быть плотным в воронке, а следовательно, и в области $\bar{\sigma}$. То же справедливо для множества разных траекторий с ветвлением.

Для того чтобы множество точек ветвления было плотным в воронке, необходимо, чтобы в ней было плотным множество разных траекторий с ветвлением. Легко видеть, что это условие не является достаточным.

Заметим, что двумерное канторово множество не может быть множеством точек ветвления при неединственности в одну сторону. Это утверждение вытекает из того факта, что в нашем случае из какой-либо точки не могут выходить в разных направлениях две гладкие кривые, на каждой из которых расположено множество точек ветвления с точкой конденсации в данной точке (следствие теоремы 6).

Более общие предложения о структуре множества точек ветвления при неединственности в одну сторону как двумерного множества связаны с понятием дерева для нашего случая.

Определение. Назовем деревом, принадлежащим области $\bar{\sigma}$, сумму конечного или счетного множества кривых (простых дуг) L_i с непрерывно вращающейся касательной таких, что: 1) все кривые обоими концами выходят на границу области $\bar{\sigma}$ и имеют при этом общую точку входа в область; 2) все кривые ориентированы в направлении от точки входа к точке выхода; 3) пересечение всяких двух кривых связно и содержит общую точку входа в область; 4) в общих точках кривые имеют общие касательные.

Теорема 10. Для того чтобы множество Φ точек в области $\bar{\sigma}$ было множеством точек ветвления при неединственности в одну сторону, необходимо и достаточно: чтобы оно было расположено не более чем на счетном множестве попарно не пересекающихся деревьев и на каждом из деревьев было замкнуто влево (т. е. замкнуто влево на каждой из кривых L_i); чтобы указанная совокупность деревьев обладала следующими свойствами: а) касательные к кривым, составляющим деревья, равномерно непрерывны на сумме последних W ; в) пусть Π — векторное поле, образованное единичными касательными векторами к кривым L_i в точках множества W , и пусть $\bar{\Pi}$ — замыкание Π на \bar{W} ; тогда касательные кривые поля $\bar{\Pi}$ не могут иметь точек ветвления в отрицательном направлении касательного вектора и не могут быть замкнутыми; с) все точки множества Φ , отличные от точек ветвления деревьев, достижимы из дополнения суммы деревьев до всей плоскости $R^2: R^2 \setminus W$.

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую признательность Е. М. Ландису за научное руководство и помощь в работе.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
9 X 1958

Член-корреспондент АН СССР А. Н. ТИХОНОВ

ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОМ ПОВЕДЕНИИ ИНТЕГРАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ БЕССЕЛЕВЫ ФУНКЦИИ

При решении многих задач математической физики для слоистых сред встречаются интегралы типа

$$I(\rho) = \int_0^{\infty} J_0(\lambda \rho) F(\lambda) d\lambda,$$

а также их производные по ρ , где J_0 — бesselева функция нулевого порядка. Целью настоящей статьи является изучение асимптотического поведения $I(\rho)$ и их производных при $\rho \rightarrow \infty$.

Этот вопрос изучался в ⁽¹⁾ в предположении аналитичности функции $F(\lambda)$, которое, однако, нельзя признать исчерпывающим, так как оно не гарантирует сходимости интеграла и асимптотики того типа, которая приводится в работе ⁽¹⁾. Действительно, интеграл $I(\rho)$, соответствующий функции

$$F(\lambda) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \lambda z_n, \quad \sum_{n=1}^{\infty} |a_n| < \infty, \quad z_n \rightarrow \infty \quad \text{при} \quad n \rightarrow \infty,$$

обращается в бесконечность при $\rho = z_n$, и $\rho I(\rho)$ не имеет предела при $\rho \rightarrow \infty$.

1. Основным классом функций V , для которого будет проведено изучение интегралов $I(\rho)$, является класс функций $F(\lambda)$, имеющих ограниченную вариацию в промежутке (λ_0, ∞) , где λ_0 зависит от $F(\lambda)$. Иными словами, мы будем предполагать, что

$$F(\lambda) = f_0 - f_1(\lambda) + f_2(\lambda) \quad \text{для} \quad \lambda \geq \lambda_0, \quad f_0 = F(\infty),$$

где $f_1(\lambda)$ и $f_2(\lambda)$ — невозрастающие функции, стремящиеся к нулю при $\lambda \rightarrow \infty$ ($f_i(\lambda) \geq 0$, $i = 1, 2$). Мы будем предполагать, что функции класса V интегрируемы на всем промежутке $(0, \infty)$.

Вспомогательная лемма. Если функция $F(\lambda) \in V$ ограничена, то интеграл

$$I_n(\rho) = \int_0^{\infty} I_n(\lambda \rho) F(\lambda) d\lambda$$

сходится.

Разбивая этот интеграл на два — в пределах от 0 до λ_0 и от λ_0 до ∞ , убеждаемся в его сходимости, воспользовавшись асимптотикой для $J_n(\lambda \rho)$ и теоремой Лейбница о сходимости убывающего знакопеременного ряда.

Лемма 0. Если функция $F(\lambda) \in V$ ограничена, то

$$I_n(\rho) = \varepsilon(\rho), \quad \text{где} \quad \varepsilon(\rho) \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad \rho \rightarrow \infty.$$

Для этого надо потребовать, чтобы для любого $\varepsilon_0 > 0$ нашлось такое $R(\varepsilon_0)$, что $|I_n(\rho)| \leq \varepsilon_0$ для $\rho \geq R(\varepsilon_0)$. Представляя $I_n(\rho)$ в виде

$$I_n(\rho) = \int_0^{\bar{\lambda}} + \int_{\bar{\lambda}}^{\lambda_0} + \int_{\lambda_0}^{\infty},$$

трудно добиться того, чтобы модуль каждого слагаемого не превосходил $1/3$. Для первого слагаемого это решается выбором достаточно малого $\bar{\lambda}$. Второе и третье слагаемые меньше $C \frac{1}{V \rho}$, что следует из асимптотики $J_n(\lambda \rho)$.

Лемма 1. Если функция $F(\lambda) \in V$ удовлетворяет условиям: 1) $F(\lambda)$ непрерывна; 2) $F(0) = 0$; 3) существует $F'(\lambda) \in V$, ограниченная в $0 \leq \lambda < \infty$, то

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho} \varepsilon(\rho).$$

Пользуясь уравнением Бесселя для J_0 , имеем

$$\rho^2 I(\rho) = \int_0^\infty \frac{1}{\lambda} \frac{d}{d\lambda} \left(\lambda \frac{dJ_0}{d\lambda} \right) F(\lambda) d\lambda = \lambda \frac{dJ_0}{d\lambda} \frac{F(\lambda)}{\lambda} \Big|_0^\infty + \rho \int_0^\infty J_1(\lambda \rho) F_1(\lambda) d\lambda,$$

где $F_1(\lambda) = \lambda [F(\lambda)/\lambda]'$. В силу условий $F_1(\lambda)$ ограничена и $F_1(\lambda) \in V$. Отсюда и следует утверждение леммы.

Лемма 2. Если непрерывная функция $F(\lambda) \in V$ удовлетворяет условиям: 1) $F(0) = 0$, 2) $F'(\lambda)$ непрерывная и $F''(\lambda)$ ограниченные функции в V , то

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho^2} \varepsilon(\rho).$$

Преобразуя $\rho^2 I(\rho)$, дважды интегрируя его по частям, получим

$$\rho^2 I(\rho) = -\rho J_1(\lambda \rho) F(\lambda) \Big|_0^\infty - J_0(\lambda \rho) F_1(\lambda) \Big|_0^\infty + \int_0^\infty J_0(\lambda \rho) F_2(\lambda) d\lambda,$$

где

$$F_1(\lambda) = \lambda \left[\frac{F(\lambda)}{\lambda} \right]' = -\frac{F(\lambda)}{\lambda} + F'(\lambda), \quad F_2(\lambda) = \left[\lambda \left[\frac{F(\lambda)}{\lambda^2} \right]' \right]' = \frac{F(\lambda)}{\lambda^2} - \frac{F'(\lambda)}{\lambda} + F''(\lambda).$$

В силу условий леммы результаты подстановки обращаются в нуль, а $F_2(\lambda)$ ограничена при $\lambda = 0$. Отсюда и следует утверждение леммы.

Замечание к лемме 2. Если $F(\lambda)$ или $F'(\lambda)$ кусочно непрерывны, результаты подстановки не обращаются в нуль, а дают дополнительное слагаемое

$$-\frac{1}{\rho^2} \sum \frac{\omega}{\lambda_i'} [\lambda_i \rho J_1(\lambda_i \rho) - J_0(\lambda_i \rho)] - \frac{1}{\rho^2} \sum \omega_i' J_0(\lambda_i' \rho),$$

где λ_i, λ_i' и ω_i, ω_i' — точки разрыва и скачки функций $F(\lambda), F'(\lambda)$.

Теорема 1. Если $F(\lambda) \in V$ имеет в $0 \leq \lambda < \infty$ n производных, принадлежащих тому же классу, причем n -я производная ограничена, а все остальные непрерывны, и если $F^{(2k)}(0) = 0$ для $k = 0, 1, \dots, m$, где $m = \left[\frac{n-1}{2} \right]$, то

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho^n} \varepsilon(\rho).$$

Доказательство проводится индукцией с использованием преобразования из леммы 2. Оператор

$$\begin{aligned} L_2(F) &= \left[\lambda \left[\frac{F(\lambda)}{\lambda} \right]' \right]' = \frac{F(\lambda)}{\lambda^2} - \frac{F'(\lambda)}{\lambda} + F''(\lambda) = \\ &= \frac{F(0)}{\lambda^2} + \frac{1}{2} F''(0) + \sum_{i=3}^{n-1} \frac{\lambda^{i-2}}{i!} (i-1)^2 F^{(i)}(0) + \\ &+ \lambda^{n-2} \left[\frac{\bar{F}^{(n)}(\lambda)}{n!} - \frac{\bar{\bar{F}}^{(n)}(\lambda)}{(n-1)!} + \frac{\bar{\bar{\bar{F}}}^{(n)}(\lambda)}{(n-2)!} \right], \end{aligned}$$

где $\bar{F}^{(n)}, \bar{\bar{F}}^{(n)}, \bar{\bar{\bar{F}}}^{(n)}$ — различные средние значения $F^{(n)}(\lambda)$ в $(0, \lambda)$. Отсюда следует, что если $F(0) = 0$, то $F_2(\lambda)$ имеет $n-2$ производных, причем

$(n-2)$ -я производная ограничена, а остальные непрерывны. Кроме того, если $F^{(2k)}(0) = 0$ при $k = 0, 1, \dots, m$, то это же имеет место и для $F_2^{(2l)}(0)$ при $l = 0, 1, \dots, m-1$.

Таким образом,

$$\rho^{2m} I(\rho) = \rho^{2m-2} I^2(\rho) = \dots = I^{2m}(\rho),$$

где

$$I^{2k}(\rho) = \int_0^\infty J_0(\lambda \rho) F_{2k}(\lambda) d\lambda, \quad F_{2k}(\lambda) = L_2(F_{2(k-1)}(\lambda)).$$

Если n нечетно, то $n = 2m + 1$ и $F_{2m}(\lambda)$ имеет ограниченную производную и обращается в нуль при $\lambda = 0$. В силу леммы 1 в этом случае

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho^{2m}} I^{2m}(\rho) = \frac{1}{\rho^n} \varepsilon(\rho) \quad (n = 2m + 1).$$

Если n четно, то $F_{2m}(\lambda)$ имеет непрерывную первую и ограниченную вторую производные и $F_{2m}(0) = 0$. В силу леммы 2

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho^{2m}} I^{2m}(\rho) = \frac{1}{\rho^n} \varepsilon(\rho) \quad (n = 2m + 2).$$

2. Асимптотическое представление для $I(\rho)$ дает теорема 2.

Теорема 2. Если функция $F(\lambda) \in V$ имеет в $0 \leq \lambda < \infty$ n производных, принадлежащих к тому же классу, причем n -я производная ограничена, а остальные непрерывны, то

$$I(\rho) = \frac{F(0)}{\rho} + C_2 \frac{F''(0)}{\rho^3} + \dots + C_{2m} \frac{F^{(2m)}(0)}{\rho^{2m+1}} + \frac{1}{\rho^n} \varepsilon(\rho),$$

$$\text{где } m = \left[\frac{n-1}{2} \right], \quad C_{2k} = (-1)^k \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2k-1)}{2^k \cdot k!} \quad (C_0 = 1).$$

Для доказательства построим функцию $\bar{F}(\lambda)$, для которой легко выписать асимптотику n -го порядка и, кроме того, $\bar{F}^{(k)}(0) = F^{(k)}(0)$. Положим

$$\bar{F}(\lambda) = \sum_{i=0}^{2m} a_i e^{-\lambda z_i},$$

где z_i — произвольные, но различные между собой положительные числа. Коэффициенты a_i должны при этом удовлетворять равенствам

$$\bar{F}^{(k)}(0) = (-1)^k \sum_{i=0}^{2m} a_i z_i^k = F^{(k)}(0),$$

откуда они находятся однозначно, так как определителем системы является определитель Вандермонда.

Пользуясь известной формулой

$$\int_0^\infty J_0(\lambda \rho) e^{-\lambda z} d\lambda = \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + z^2}},$$

находим, что

$$\begin{aligned} \bar{I}(\rho) &= \int_0^\infty J_0(\lambda \rho) \bar{F}(\lambda) d\lambda = \sum_{i=0}^{2m} \frac{a_i}{\sqrt{\rho^2 + z_i^2}} = \\ &= \frac{1}{\rho} \sum_{i=0}^{2m} a_i \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{z_i}{\rho} \right)^2 + \dots + (-1)^m \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2m-1)}{2^m \cdot m!} \left(\frac{z_i}{\rho} \right)^{2m} + O\left(\frac{1}{\rho^{2m+2}} \right) \right\} = \\ &= \frac{F(0)}{\rho} + C_2 \frac{F''(0)}{\rho^3} + \dots + C_{2m} \frac{F^{(2m)}(0)}{\rho^{2m+1}} + O\left(\frac{1}{\rho^{2m+3}} \right). \end{aligned}$$

Функция $\bar{F}(\lambda) = F(\lambda) - \bar{F}(\lambda)$ удовлетворяет всем условиям теоремы 1 n , определяемым функцией $F(\lambda)$. Таким образом,

$$I(\rho) = \sum_{k=0}^m C_{2k} \frac{F^{(2k)}(0)}{\rho^{2k+1}} + \frac{1}{\rho^n} \varepsilon(\rho).$$

3. Асимптотическую формулу, установленную в теореме 2, можно по-
 лемно дифференцировать.

Теорема 3. Имеет место формула

$$\frac{dI(\rho)}{d\rho} = -\frac{F(0)}{\rho^2} - \dots - (2m+1) C_{2m} \frac{F^{(2m)}(0)}{\rho^{2m+2}} + \frac{1}{\rho^{n+1}} \varepsilon(\rho),$$

если помимо условий, наложенных на $F(\lambda)$ в теореме 2, функция $F_{(1)}(\lambda) = \lambda[F(\lambda) - F(\infty)]$ и ее $n+1$ производных принадлежат классу V , при-
 ем $(n+1)$ -я производная этой функции ограничена, а остальные непре-
 ывны.

В самом деле,

$$I(\rho) = \frac{1}{\rho} F(\infty) + \int_0^\infty J_0(\lambda\rho) [F(\lambda) - F(\infty)] d\lambda,$$

так что дифференцирование по ρ можно выполнить под знаком интеграла:

$$\begin{aligned} \frac{dI(\rho)}{d\rho} &= -\frac{1}{\rho^2} F(\infty) + \int_0^\infty J'_0(\lambda\rho) \lambda [F(\lambda) - F(\infty)] d\lambda = \\ &= -\frac{F(\infty)}{\rho^2} + \frac{1}{\rho} \int_0^\infty \frac{dJ_0}{d\lambda} F_3(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

ли

$$\frac{dI(\rho)}{d\rho} = -\frac{F(\infty)}{\rho^2} + \frac{1}{\rho} \left\{ F_{(1)}(\lambda) J_0(\lambda\rho) \right\}_0^\infty - \int_0^\infty J_0(\lambda\rho) \frac{dF_{(1)}}{d\lambda} d\lambda \Big\}.$$

Принимая во внимание, что

$$\frac{d^k}{d\lambda^k} [F'_{(1)}(\lambda)] \Big|_{\lambda=0} = (k+1) F^{(k)}(0), \quad F'_{(1)}(0) = F(0) - F(\infty),$$

получаем как следствие теоремы 2 нужную нам формулу

$$\frac{dI}{d\rho} = -\frac{F(0)}{\rho^2} - \dots - (2m+1) C_{2m} \frac{F^{(2m)}(0)}{\rho^{2m+2}} + \frac{\varepsilon(\rho)}{\rho^{n+1}}.$$

Вычисление последующих производных проводится аналогично при
 выполнении очевидных дополнительных требований.

Условия для применимости асимптотики и возможности ее дифферен-
 цирования будут выполнены, если помимо нужного порядка дифференци-
 емости для $F(\lambda)$ имеет место разложение

$$F(\lambda) = b_0 + \frac{b_1}{\lambda} + \dots + \frac{b_n}{\lambda^n} + \dots \quad (\text{при } \lambda \geq \lambda_0).$$

В заключение отметим, что если функция $F(\lambda)$ или ее производные
 сочно-непрерывны, то, как следует из замечания к лемме 2, в асимпто-
 тическом представлении $I(\rho)$ появятся дополнительные слагаемые, вычис-
 ление которых не представляет труда.

Московский государственный университет
 им. М. В. Ломоносова

Поступило
 24 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. F. Willis, Phil. Mag., 39, 455 (1948).

В. А. БОДНЕР, В. Е. ОВЧАРОВ и В. П. СЕЛЕЗНЕВ

О СИНТЕЗЕ ИНВАРИАНТНЫХ ДЕМПФИРОВАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ПЕРИОДОМ

(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 13 XI 1958)

Как известно ⁽¹⁾, инерциальные системы, основанные на использовании гироскопической модели маятника М. Шулера, обладают следующими недостатками: а) при точном выполнении условия компенсации система становится инвариантной по отношению к внешним возмущениям, но при нулевых начальных условиях в ней возникают незатухающие колебания (система становится неустойчивой); б) с течением времени в системе при отсутствии внешней коррекции уходов гироскопов накапливаются большие погрешности. Известные способы введения демпфирования в систему путем использования внутренних сигналов приводят к нарушению условий компенсации и не позволяют получить быстрое * затухание процессов.

Синтез инвариантных инерциальных систем, свободных от указанных выше недостатков, можно осуществить на основе теории инвариантности, развитой в работах Н. Н. Лузина ⁽²⁾ и В. С. Кулебакина ⁽³⁾. В данной статье излагается метод синтеза (построения) демпфированной инерциальной системы с произвольным периодом, инвариантной с точностью до ϵ к любым внешним возмущениям.

Предположим, что на свободной в азимуте гиropлатформе, совершающей движение по отношению к Земле на постоянном удалении от ее центра, установлены два акселерометра с взаимно перпендикулярными осями, лежащими в плоскости, перпендикулярной к вертикали места. Направления осей x и y координатной системы по осям акселерометров, а ось z — по направлению вертикали места вверх. Если α и β — малые углы отклонения гировертикали от вертикали места соответственно в направлении осей x и y , а V_x и V_y — составляющие абсолютной скорости объекта (на котором установлена гиropлатформа) по отношению к Земле, то уравнения движения гиropлатформы будут

$$\dot{\alpha} + \frac{V_x}{R} = \frac{\mu}{H} \int_0^t (\dot{V}_x - g\alpha) dt, \quad \dot{\beta} + \frac{V_y}{R} = \frac{\nu}{H} \int_0^t (\dot{V}_y - g\beta) dt, \quad (1)$$

где H — кинетический момент; R — радиус Земли (точнее, расстояние от центра Земли до гиropлатформы); g — ускорение центральных сил, действующих на платформу; μ и ν — коэффициенты усиления устройств, осуществляющих интегральную коррекцию гиropлатформы. При выводе уравнений предполагалось, что гиropлатформа вращается вокруг вертикальной оси относительно Земли со скоростью $(\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi$, где ω_3 — угловая скорость вращения Земли, φ — широта места и $\dot{\lambda}$ — скорость изменения долготы.

Если продифференцировать уравнение (1) по времени и удовлетворить условиям компенсации

$$\frac{\mu}{H} = \frac{\nu}{H} = \frac{1}{R}, \quad (2)$$

* Время затухания сравнимо с периодом М. Шулера.

то получим уравнения движения гиросплатформы

$$\ddot{\alpha} + \Omega_0^2 \alpha = 0, \quad \ddot{\beta} + \Omega_0^2 \beta = 0, \quad (3)$$

где $\Omega_0^2 = (2\pi/T)^2 = g/R$, T — период М. Шулера.

При указанных выше условиях гиросплатформа инвариантна по отношению к любым внешним возмущениям, кроме вариаций начальных условий. При этом не принимаются во внимание инструментальные погрешности системы, которые эквивалентны внешним возмущениям.

Очевидно, что первые интегралы от составляющих ускорения представляют собою составляющие путевой скорости (с учетом периферической скорости Земли) объекта, а вторые интегралы — составляющие пройденного пути (при использовании дополнительных счетно-решающих устройств). Следовательно, можно определить вектор скорости и координаты местоположения объекта. Однако при ненулевых начальных условиях в системе возникнут незатухающие колебания. В результате этого определение углов α и β вертикали, а следовательно, и местоположения объекта связано с значительными погрешностями.

Недостатки инерциальных систем как замкнутых систем автоматического управления (рис. 1) проистекают из-за того, что, строго говоря, в таких сис-

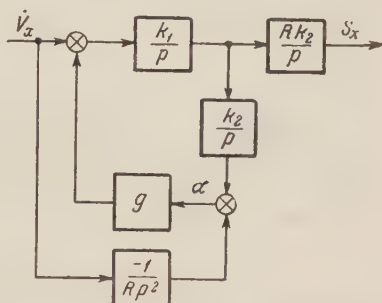


Рис. 1

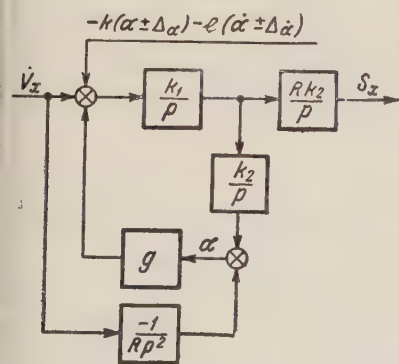


Рис. 2

стемах трудно удовлетворить условиям абсолютной инвариантности без нарушения условий устойчивости. Выполнение условий абсолютной инвариантности возможно только в динамических системах, построенных по комбинированному принципу (по отклонению и компенсации) (2, 3).

Предположим, что на объект (рис. 2) поступает внешняя дискретная информация о скорости и координатах объекта (информация поступает в течение небольших промежутков времени, после чего следуют большие перерывы). При наличии такой информации, которая, разумеется, не может быть абсолютно точной, можно вычислить приближенные значения углов

$\alpha \pm \Delta_1$, $\beta \pm \Delta_2$ и угловых скоростей $\dot{\alpha} \pm \Delta_3$ и $\dot{\beta} \pm \Delta_4$, где Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 и Δ_4 — погрешности углов и угловых скоростей, проистекающие от неточной внешней информации. Эти погрешности ограничены по модулю и не превышают малых величин порядка ϵ . В общем случае погрешности Δ могут являться случайными функциями времени. Если к сигналам акселерометров прибавить соответственно сигналы $-k_x(\alpha \pm \Delta_1) - l_x(\dot{\alpha} \pm \Delta_3)$, $-k_y(\beta \pm \Delta_2) - l_y(\dot{\beta} \pm \Delta_4)$ и осуществить по ним интегральную коррекцию гиросплатформы, то получим после удовлетворения условиям компенсации (2)

$$\ddot{\alpha} + 2d_1\Omega_0\kappa_1\dot{\alpha} + \Omega_0^2\kappa_1^2\alpha = \mp [\Omega_0^2(\kappa_1^2 - 1)\Delta_1 + 2d_1\Omega_0\kappa_1\Delta_3]; \quad (4)$$

$$\ddot{\beta} + 2d_2\Omega_0\kappa_2\dot{\beta} + \Omega_0^2\kappa_2^2\beta = \mp [\Omega_0^2(\kappa_2^2 - 1)\Delta_2 + 2d_2\Omega_0\kappa_2\Delta_4],$$

где $\kappa_1^2 = 1 + k_x/g$; $\kappa_2^2 = 1 + k_y/g$; $2d_1\Omega_0\kappa_1 = l_x/R$; $2d_2\Omega_0\kappa_2 = l_y/R$.

В зависимости от знаков сигналов k_x и k_y можно увеличить ($k_x < 0$, $k_y < 0$) или уменьшить ($k_x > 0$, $k_y > 0$) период системы по сравнению с

периодом М. Шулера, не нарушая условий компенсации (2) (с точностью до погрешностей системы, обусловленных неточностью внешней информации). Поскольку в уравнениях (4) имеются демпфирующие члены то собственные движения гироскопа будут затухающими. Для того чтобы переходные процессы заканчивались в кратчайшее время, период системы должен быть уменьшен по сравнению с периодом М. Шулера ($\chi^2 > 1$), причем для обоих каналов эти периоды могут быть одинаковыми. Выбрав величин декрементов d_1 и d_2 , которые также могут быть одинаковыми, следует обусловить требованием быстрого затухания процессов. Можно, например, положить $d_1 = d_2 = 0,7 \div 1,0$.

При выборе коэффициента χ следует учитывать, с одной стороны, время передачи на объект информации, в течение которого переходные погрешности должны быть доведены до допустимых пределов, а с другой, величины установившихся погрешностей, которые, как следует из (4), в предположении постоянства величин $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ имеют вид

$$\alpha_{уст} = \mp \left(\frac{\chi_1^2 - 1}{\chi_1^2} \Delta_1 + \frac{2d_1}{\chi_1 \Omega_0} \Delta_3 \right), \quad \beta_{уст} = \mp \left(\frac{\chi_2^2 - 1}{\chi_2^2} \Delta_2 + \frac{2d_2}{\chi_2 \Omega_0} \Delta_4 \right)$$

Очевидно, что при больших численных значениях коэффициента χ преобладающее влияние на установившиеся погрешности системы будут иметь погрешности в информации о координатах, а при малых численных значениях χ — погрешности в информации о скорости объекта.

Если погрешности $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ являются функциями времени, то выбор частоты (периода) системы следует обусловить требованием, чтобы она не совпадала с частотами сигналов, имеющих наибольшую интенсивность.

До сих пор предполагалось, что ускорение g центральных сил постоянно и не зависит от скорости V движения гироскопа (объекта), что справедливо при малых скоростях ($V \ll 3c$, c — скорость звука). Для больших скоростей ускорение g будет

$$g = g_0 - \frac{V^2}{R},$$

где g_0 — ускорение силы тяжести и V — абсолютная скорость объекта. Отсюда следует, что для скорости

$$V \rightarrow \sqrt{g_0 R}$$

период инерциальной системы стремится к бесконечности. Следовательно, инерциальная система не может функционировать на объекте, движущемся с первой космической скоростью. Если, однако, начальные отклонения устранены путем использования внешней информации, то большой период может оказаться положительным качеством инерциальной системы.

Таким образом, для построения инвариантных демпфированных инерциальных систем с произвольным периодом необходима внешняя информация, которая может поступать в систему дискретно или непрерывно. При дискретном поступлении информации паузы могут быть произвольными. Мыслимы также инерциальные системы, в которых внешняя информация используется только в начальный момент их работы для устранения начальных отклонений и скоростей инерциальной вертикали. В дальнейшем такие системы продолжают функционировать как системы М. Шулера.

Поступило
13 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Ю. Ишлинский, Прикл. матем. и мех., 21, №№ 1, 2, 6 (1957). ² Н. Н. Лузин, П. И. Кузнецов, ДАН, 51, №№ 4 и 5 (1946); 80, № 3 (1951). ³ В. С. Кулебакин, ДАН, 60, № 2 (1948); 68, № 5 (1949); 77, № 2 (1951).

И. С. ГЕРАСИМОВ

ОБ ОДНОЙ АВТОМОДЕЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 21 XI 1958)

Рассматривается круглая упругая коническая оболочка под действием подвижной нагрузки (постоянное давление, осесимметричное и нормальное к поверхности конуса), распространяющейся с постоянной скоростью v от вершины вдоль оси симметрии конуса. Толщина оболочки считается линейной функцией расстояния от вершины.

Исходя из уравнений равновесия упругой оболочки, имеющей форму тела вращения и находящейся под действием симметричной нагрузки, получена система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение элемента конической оболочки, вида

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial s}(sT_1) - T_2 - \rho\beta s^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= 0, \\ \frac{\partial^2}{\partial s^2}(sG_1) - \frac{\partial G_2}{\partial s} + T_2 \operatorname{ctg} \alpha + ps - \rho\beta s^2 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где t — время; p — давление подвижной нагрузки; ρ — плотность материала; T_1 и T_2 — меридиональное и кольцевое растягивающие усилия; G_1 и G_2 — меридиональный и кольцевой изгибающие моменты; u и w — перемещения точек срединной поверхности оболочки по направлениям соответственно касательной к меридиану и внутренней нормали; s — расстояние от вершины конуса до рассматриваемого элемента; α — половина угла раскрытия конуса; β — угловая толщина оболочки. Величины T_1 , T_2 , G_1 и G_2 отнесены к единице длины соответствующих нормальных сечений и определяются по формулам:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{E\beta}{1-\nu^2} s \left[\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\nu}{s}(u - w \operatorname{ctg} \alpha) \right], \\ T_2 &= \frac{E\beta}{1-\nu^2} s \left[\frac{1}{s}(u - w \operatorname{ctg} \alpha) + \nu \frac{\partial u}{\partial s} \right], \\ G_1 &= \frac{E\beta^3}{12(1-\nu^2)} s^3 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial s^2} + \frac{\nu}{s} \frac{\partial w}{\partial s} \right], \quad G_2 = -\frac{E\beta^3}{12(1-\nu^2)} s^3 \left[\frac{1}{s} \frac{\partial w}{\partial s} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \right]. \end{aligned}$$

Касательные усилия из соображений симметрии здесь отсутствуют. Оболочка конуса предполагается бесконечной, поэтому никакие постоянные линейные размеры ее не заданы.

Поскольку из входящих в уравнения движения (1) и граничные условия заданных величин α , β , p , ρ и v нельзя составить постоянную величину, имеющую размерность длины, то решение этой динамической задачи является автомодельным.

Решение уравнения (1) можно искать в виде:

$$u = s\bar{u}(\zeta), \quad w = s\bar{w}(\zeta), \quad (2)$$

где ζ — новая независимая переменная, определяемая по формуле

$$\zeta = s/vt. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), систему уравнений (1) можно привести к двум обыкновенным дифференциальным уравнениям с переменными коэффициентами:

$$\begin{aligned} \bar{u}'' + \frac{4E - 2(1-v^2)\rho v^2 \zeta^2}{[E - (1-v^2)\rho v^2 \zeta^2] \zeta} \bar{u}' + \frac{(1+v)E}{[E - (1-v^2)\rho v^2 \zeta^2] \zeta^2} \bar{u} - \\ - \frac{v E \operatorname{ctg} \alpha}{[E - (1-v^2)\rho v^2 \zeta^2] \zeta} \bar{w}' + \frac{(1-2v)E \operatorname{ctg} \alpha}{[E - (1-v^2)\rho v^2 \zeta^2] \zeta^2} \bar{w} = 0, \\ \bar{w}^{IV} + \frac{12}{\zeta} \bar{w}''' + \frac{(35+3v)E\beta^2 + 12(1-v^2)\rho v^2 \zeta^2}{E\beta^2 \zeta^2} \bar{w}'' + \\ + \frac{(20+12v)E\beta^2 + 24(1-v^2)\rho v^2 \zeta^2}{E\beta^2 \zeta^3} \bar{w}' - \frac{12v \operatorname{ctg} \alpha}{\beta^2 \zeta^3} \bar{u}' + \\ + \frac{12 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 6v\beta^2 - 2\beta^2}{\beta^2 \zeta^4} \bar{w} - \frac{12(1+v) \operatorname{ctg} \alpha}{\beta^2 \zeta^4} \bar{u} - \frac{12(1-v^2)P}{E\beta^2 \zeta^4} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь штрихи обозначают производные по ζ ; v — коэффициент Пуассона; E — модуль Юнга; остальные величины имеют значения, указанные выше.

Для упрощения приближенного решения поставленной задачи допустим, что коэффициент Пуассона $v = 0$. Тогда система (4) примет вид:

$$\begin{aligned} \bar{u}'' + \frac{4-2a_0 \zeta^2}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta} \bar{u}' + \frac{1}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^2} \bar{u} + \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^2} \bar{w} = 0, \\ \bar{w}^{IV} + \frac{12}{\zeta} \bar{w}''' + \frac{35+12b_0 \zeta^2}{\zeta^2} \bar{w}'' + \frac{20+24b_0 \zeta^2}{\zeta^3} \bar{w}' + \\ + \frac{b^4-2}{\zeta^4} \bar{w} - \frac{b^4}{\operatorname{ctg} \alpha \zeta^4} \bar{u} - \frac{12p}{E\beta^2 \zeta^4} = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где \bar{u} и \bar{w} — перемещения точек срединной поверхности оболочки, разделенные на расстояние s от вершины;

$$b^4 = \frac{12 \operatorname{ctg}^2 \alpha}{\beta^2}, \quad a_0 = \frac{\rho v^2}{E}, \quad b_0 = \frac{\rho v^2}{E\beta^2}. \quad (6)$$

Система (5) приводится к одному обыкновенному дифференциальному уравнению с переменными коэффициентами 6-го порядка вида:

$$\begin{aligned} w^{VI} + q_1 \bar{w}^V + q_2 \bar{w}^{IV} + q_3 \bar{w}''' + (q_4 + b^4 q_5) \bar{w}'' + \\ + (q_6 + b^4 q_7) \bar{w}' + (q_8 + b^4 q_9) \bar{w} = q_0, \end{aligned} \quad (7)$$

где штрихи обозначают производные по ζ ,

$$\begin{aligned} q_1 = \frac{24-22a_0 \zeta^2}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta}, \quad q_2 = \frac{184-(12b_0-151a_0) \zeta^2-12a_0 b_0 \zeta^4}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^2}, \\ q_3 = \frac{528+(168b_0-374a_0) \zeta^2-144a_0 b_0 \zeta^4}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^3}, \\ q_4 = \frac{503+(588b_0-288a_0) \zeta^2-432a_0 b_0 \zeta^4}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^4}, \\ q_5 = \frac{1}{\zeta^4}, \quad q_6 = \frac{92+(312b_0-36a_0) \zeta^2-288a_0 b_0 \zeta^4}{(1-a_0 \zeta^2) \zeta^5}, \end{aligned}$$

$$q_7 = \frac{4 - 2a_0\zeta^2}{(1 - a_0\zeta^2)\zeta^5}, \quad q_8 = -\frac{2}{(1 - a_0\zeta^2)\zeta^6}, \quad q_9 = \frac{2}{(1 - a_0\zeta^2)\zeta^6},$$

$$q_0 = \begin{cases} \frac{12p}{E\beta^2(1 - a_0\zeta^2)\zeta^6} & \text{при } \zeta \leq 1, \\ 0 & \text{при } \zeta \geq 1. \end{cases}$$

Граничные условия. Если скорость v распространения давления p является сверхзвуковой, т. е. больше скорости c распространения объемных упругих волн в материале оболочки ($v > c$),

$$c = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho},$$

где λ и μ — постоянные Ламе, то в действительности возмущения (перемещения u, w) будут существовать только при $\zeta < 1$ ($s < vt$). Для этого случая мы считаем целесообразным поставить следующие граничные условия при $\zeta = 1$:

$$\zeta = 1, \quad u = w = \partial w / \partial s = 0. \quad (8)$$

Область решения будет $0 \leq s \leq 1$.

Если скорость распространения давления p является дозвуковой, т. е. $v < c$, то возмущения будут распространяться и в область $\zeta > 1$ ($s > vt$). Для этого случая граничные условия должны быть поставлены при $\zeta \rightarrow \infty$, причем на бесконечности возмущения должны быть бесконечно малыми. Таким образом:

$$\zeta = \infty, \quad u = w = \partial w / \partial s = 0. \quad (9)$$

Область решения при этом будет $0 \leq s \leq \infty$.

В обоих случаях, при $v > c$ и $v < c$, в вершине конуса $s = 0$, т. е. $\zeta = 0$, граничные условия сводятся к требованию регулярности решения.

Обращаясь к оценке коэффициентов уравнения (7), следует отметить, что значение параметра b^4 , а следовательно, и значения коэффициентов при \bar{w} , \bar{w}' , и \bar{w}'' для рассматриваемой тонкой конической оболочки, будут иметь очень большие значения по сравнению с остальными коэффициентами. Это обстоятельство облегчает приближенное решение уравнения (7) одним из асимптотических методов интегрирования.

Г. Е. КУЗМАК

О ВЫЧИСЛЕНИИ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ НЕЗАМКНУТЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ КРИВЫМ «ЭТАЛОННОГО» УРАВНЕНИЯ

(Представлено академиком А. А. Дородницыным 9 I 1959)

В настоящей работе рассматривается уравнение

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \varepsilon f(\tau, y) \frac{dy}{dt} + F(\tau, y) = 0. \quad (1)$$

Здесь ε — малый параметр; $\tau = \varepsilon t$ — медленное время. В работе (1) было показано, что путем соответствующего выбора произвольных функций от τ входящих в решение «эталонного» уравнения

$$\varphi^2(\tau) \frac{\partial^2 y_0}{\partial \omega^2} + F(\tau, y_0) = 0 \quad (2)$$

можно добиться того, чтобы функции

$$y_0(t) = y_0(\tau, \omega), \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = \varphi(\tau) \frac{\partial y_0}{\partial \omega}, \quad (3)$$

где $\omega = \omega_0 + \int_0^t \varphi(\varepsilon t) dt$ были, соответственно, близки к решению уравнения (1) и его производной при $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$. Одно из основных предположений работы (1) заключалось в том, чтобы «эталонное» уравнение при

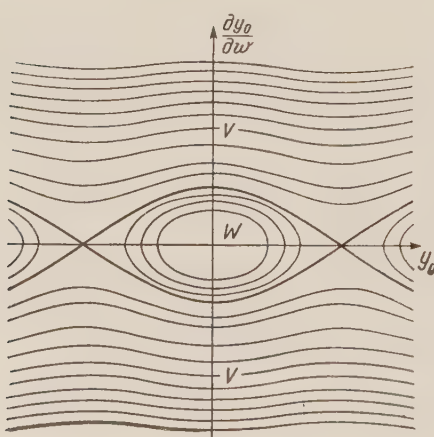


Рис. 1

каждом из рассматриваемых значений τ имело на фазовой плоскости $y_0, \partial y_0/\partial \omega$ семейство замкнутых интегральных кривых (область W на рис. 1). С помощью асимптотических формул (3) в этом случае можно исследовать решения, которые на каждом интервале времени порядка периода колебаний близки к какой-либо из кривых этого семейства, т. е. исследовать колебательные процессы.

Однако в ряде случаев, в частности тогда, когда фазовая плоскость уравнения (2) периодична по y_0 , представляет интерес также исследование процессов при $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$, которые близки к незамкнутым интегральным кривым (область V на рис. 1). В частности, важным является исследова-

ние вопросов, связанных с переходом (или непереходом) неколебательного процесса в колебательный. Для проведения такого исследования необхо-

можно иметь какие-либо приближенные представления решения для области V , рис. 1. Целью данной работы является распространение методики вычисления асимптотических решений, предложенной в работе (1), на этот случай.

Указанная задача будет рассматриваться при следующих предположениях: а) функции $f(\tau, y)$ и $F(\tau, y)$, при $0 \leq \tau \leq \tau_0$ и $0 \leq y \leq T_y$ являются достаточно гладкими и имеют период T_y по y , не зависящий от τ ; б) $f(\tau, y)$ является четной функцией y , а $F(\tau, y)$ нечетной.

Отметим прежде всего некоторые свойства неперiodических по ω решений «эталонного» уравнения. Из (2) имеем

$$\omega = \pm \frac{\varphi(\tau)}{V^2} \int_0^{y_0} \frac{dy_0}{\sqrt{\lambda(\tau) - \int_0^{y_0} F(\tau, \eta) d\eta}}. \quad (4)$$

Здесь $\lambda(\tau)$ — произвольная функция. Вторая произвольная функция, аддитивная к ω , положена равной нулю; это далее необходимо для доказательства периодичности функции $y_1(\tau, \omega)$ по ω . Медленное время τ рассматривается здесь как параметр.

Так как рассматриваются неперiodические процессы, то следует предполагать, что подкоренное выражение в (4) строго больше нуля. Это, очевидно, эквивалентно отличию от нуля производной $\partial y_0 / \partial \omega$, так что функция y_0 является функцией, абсолютное значение которой монотонно возрастает при увеличении ω . Из (4) в силу нечетности и периодичности функции $F(\tau, y)$ следует, что

$$y_0(\tau, \omega) = -y_0(\tau, -\omega), \quad y_0(\tau, \omega + T_\omega) = y_0(\tau, \omega) + T_y, \quad (5)$$

причем «период» T_ω путем соответствующего выбора произвольной функции $\lambda(\tau)$ в (4) может быть сделан не зависящим от τ , что мы и будем предполагать. В силу (5) и независимости T_ω и T_y от τ все производные от $y_0(\tau, \omega)$ по τ и по ω являются периодическими функциями ω с периодом T_ω .

Постараемся далее удовлетворить уравнению (1) с точностью до членов порядка ε^2 с помощью функции

$$\tilde{y}(t) = y_0(\tau, \omega) + \varepsilon y_1(\tau, \omega), \quad (6)$$

где τ и ω выражены через t с помощью соотношений

$$\frac{d\tau}{dt} = \varepsilon, \quad \frac{d\omega}{dt} = \varphi(\tau). \quad (6a)$$

Заметим, что когда $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$, то $0 \leq \tau \leq \tau_0$ и $0 \leq \omega < \infty$. Подставляя выражение (6) в уравнение (1) и пользуясь (6a), получим

$$\begin{aligned} & \varphi^2(\tau) \frac{\partial^2 y_0}{\partial \omega^2} + F(\tau, y_0) + \varepsilon \left\{ \varphi^2(\tau) \frac{\partial^2 y_1}{\partial \omega^2} + F_y(\tau, y_0) y_1 + 2\varphi(\tau) \frac{\partial^2 y_0}{\partial \omega \partial \tau} + \right. \\ & \left. + [\varphi'(\tau) + f(\tau, y_0)\varphi(\tau)] \frac{\partial y_0}{\partial \omega} \right\} + \varepsilon^2 \Delta \left(\tau, y_0, y_1, \frac{\partial^{k+l} y_0}{\partial \tau^k \partial \omega^l}, \frac{\partial^{k+l} y_1}{\partial \tau^k \partial \omega^l}, \varepsilon \right) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$(k, l = 0, 1, 2; 2 \geq k + l > 0).$$

Отметим, что коэффициент при ε^2 (выражение для него легко выписать) представляет собой функцию, ограниченную* при ограниченных значениях всех ее аргументов, кроме y_0 , и периодичную по y_0 с периодом T_y . Члены порядка единицы в этом уравнении компенсируются полностью в силу вы-

* В настоящей работе, когда говорится об ограниченности какой-либо функции, то подразумевается, что эта функция ограничена константой, не зависящей от ε .

бора «эталонного» уравнения. Члены порядка ε скомпенсируем с помощью функции y_1 . Для этого ее необходимо определить из уравнения

$$\varphi^2(\tau) \frac{\partial^2 y_1}{\partial \omega^2} + F_y(\tau, y_0) y_1 = -2\varphi(\tau) \frac{\partial^2 y_0}{\partial \omega \partial \tau} - [\varphi'(\tau) + f(\tau, y_0) \varphi(\tau)] \frac{\partial y_0}{\partial \omega}. \quad (9)$$

Вследствие того, что решением однородного уравнения в (8) является известная функция $\partial y_0 / \partial \omega$, выражение для $y_1(\tau, \omega)$ может быть получено в форме

$$y_1(\tau, \omega) = -\frac{1}{\varphi^2(\tau)} \frac{\partial y_0}{\partial \omega} \int_{-T_{\omega}/2}^{\omega} \frac{1}{(\partial y_0 / \partial \omega)^2} \int_0^{\omega} \left\{ \frac{\partial}{\partial \tau} - [\varphi(\tau) \left(\frac{\partial y_0}{\partial \omega_1} \right)^2] \right\} + \\ + \varphi(\tau) f(\tau, y_0) \left(\frac{\partial y_0}{\partial \omega_1} \right)^2 d\omega_1 d\omega. \quad (9)$$

Здесь τ , так же как и в равенстве (4), рассматривается как параметр.

Вообще говоря, функция $y_0(\tau, \omega)$ зависит от трех произвольных функций от τ . Одну из этих функций — функцию, аддитивную к аргументу ω , мы положили равной нулю, вторую $\lambda(\tau)$ определили из условия независимости «периода» T_{ω} от τ , а третья функция $\varphi(\tau)$ осталась произвольной. Определим ее из условия

$$\frac{d}{d\tau} \left[\varphi(\tau) \int_0^{T_{\omega}/2} \left(\frac{\partial y_0}{\partial \omega} \right)^2 d\omega \right] + \varphi(\tau) \int_0^{T_{\omega}/2} f(\tau, y_0) \left(\frac{\partial y_0}{\partial \omega} \right)^2 d\omega = 0. \quad (10)$$

Это условие вместе с четностью и периодичностью функции $f(\tau, y)$ и равенствами (5) обеспечивает периодичность $y_1(\tau, \omega)$ по ω с периодом T_{ω} . В силу же независимости T_{ω} от τ все производные от $y_1(\tau, \omega)$ будут периодическими функциями ω с тем же периодом. Пользуясь периодичностью $y_1(\tau, \omega)$ и ее производных и периодичностью производных от $y_0(\tau, \omega)$, не трудно доказать, что если при $0 \leq \tau \leq \tau_0$ функция $\varphi(\tau) \geq \delta > 0$, то $y_1(\tau, \omega)$ и производные по τ и по ω от $y_0(\tau, \omega)$ и $y_1(\tau, \omega)$, по крайней мере до второго порядка включительно, ограничены при $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$. В силу указанных выше свойств коэффициента при ε^2 в уравнении (7) из этого следует, что при $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ функция (6) удовлетворяет уравнению (1) с точностью до членов порядка ε^2 на интервале времени $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$.

Таким образом, нами доказана следующая

Теорема. Если функции $f(\tau, y)$, $F(\tau, y)$ удовлетворяют условиям а) и б); функция $\varphi(\tau)$ определена из уравнения (10) так, что при $0 \leq \tau \leq \tau_0$ $\varphi(\tau) \geq \delta > 0$; произвольные функции, входящие в решение «эталонного» уравнения, определены так, что $y_0(\tau, 0) = 0$, и «период» T_{ω} не зависит от τ , то функция (6) удовлетворяет уравнению (1) при $0 \leq t \leq \tau_0/\varepsilon$ и $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$ с точностью до членов порядка ε^2 .

Вследствие того, что член порядка ε в (6) представляет собой небольшую колеблющуюся поправку к главному члену, который к тому же в рассматриваемом случае представляет собой функцию с монотонно возрастающим абсолютным значением, его обычно можно не учитывать, поэтому асимптотические формулы для решения уравнения (1) и его производной имеют вид (3).

Рассмотрим пример, представляющий большой практический интерес:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \varepsilon f(\tau) \frac{dy}{dt} + g(\tau) \sin y = 0. \quad (11)$$

«Эталонное» уравнение в этом случае совпадает с уравнением маятника (2). Решение его, соответствующее области V на рис. 1, записывается в виде

$$y_0(\tau, \omega) = \pm 2am[K(\nu(\tau))\omega, \nu(\tau)], \quad (12)$$

де $K(\nu)$ — полный эллиптический интеграл первого рода; ν — квадрат модуля. Функция $\lambda(\tau)$, которая в данном случае является коэффициентом при ω , выбрана так, чтобы «период» T_ω во втором из соотношений (5) не зависел от τ .

Подстановкой (12) в уравнения (2) и (10) получим соотношения

$$\frac{\sqrt{\nu(\tau)}}{4E(\nu(\tau))} = \frac{\sqrt{g(\tau)}}{D} \exp \left[\int_{\tau_0}^{\tau} f(\tau) d\tau \right], \quad \varphi(\tau) = \frac{\sqrt{g(\tau)}}{\sqrt{\nu(\tau)} K(\nu(\tau))}, \quad (13)$$

где $E(\nu)$ — полный эллиптический интеграл второго рода, D — произвольная постоянная. Этих соотношений вместе с начальными условиями вполне достаточно для полного определения $\nu(\tau)$ и $\varphi(\tau)$.

Рассмотрим далее случай, когда в начальный момент $t = t_0$ функция $\nu(\tau)$ очень мала, а затем быстро возрастает. В этом случае с ростом $g(\tau)$ область W также быстро увеличивается. Если в начале движения изображающая точка находилась в области V , то с течением времени она будет захвачена расширяющейся областью W . Уравнение для определения момента «захвата» получается из соотношения (13) для $\nu(\tau)$ при $\nu(\tau) = 1$. Это уравнение для случая, когда при $t = t_0$ $g(\tau)$ удовлетворяет неравенству $4g(\tau) / \left(\left(\frac{dy}{dt} \right)_0^2 \right)_{t=t_0} \ll 1$, приближенно записывается в виде

$$\frac{\pi}{4} \left(\frac{dy}{dt} \right)_0 \Big|_{t=t_0} = \pm \sqrt{g(\tau)} \exp \left[\int_{\tau_0}^{\tau} f(\tau) d\tau \right]. \quad (14)$$

После того как «захват» произошел, решение уравнения (11) станет колебательным и может быть исследовано с помощью асимптотического решения, соответствующего области W на рис. 1. Для этой области решение «эталонного» уравнения имеет вид ⁽²⁾.

$$y_0(\tau, \omega) = 2 \arcsin \{ \sqrt{\nu(\tau)} \operatorname{sn} [K(\nu(\tau)) \omega, \nu(\tau)] \}. \quad (15)$$

Соотношения для определения $\nu(\tau)$ и $\varphi(\tau)$ могут быть получены так же, как выше.

Поступило
2 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Е. Кузмак, ДАН, **120**, № 3 (1958). ² Г. К. Сулов, Теоретическая механика, 1946.

Е. И. ХАРЛАМОВА

ОДИН ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА — ПУАССОНА

(Представлено академиком И. И. Артоболевским 15 XII 1958)

Для составления уравнений движения тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки в случае, когда это тело имеет полости, заполненные идеальной несжимаемой жидкостью, достаточно знать коэффициенты квадратичной формы, выражающей удвоенную кинетическую энергию твердого тела и жидкости. Если в момент приложения к телу импульсов, выводящих его из состояния покоя, жидкость была неподвижна, то при соответствующем выборе неизменно связанных с телом осей $Oxyz$ с началом неподвижной точки тела, эта квадратичная форма может быть записана в виде ⁽¹⁾

$$2T = Ap^2 + Bq^2 + Cr^2;$$

(p, q, r) — вектор угловой скорости тела.

Величины A, B, C в случае твердого тела с жидким заполнением могут удовлетворять неравенству

$$C > A + B, \quad (1)$$

хотя для главных моментов инерции самого твердого тела это неравенство невозможно. Так, например, в случае эллипсоидальной полости

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (2)$$

кинетическая энергия жидкости выражается формулой ⁽¹⁾

$$\frac{M}{10} \left[\frac{(b^2 - c^2)^2}{b^2 + c^2} p^2 + \frac{(c^2 - a^2)^2}{c^2 + a^2} q^2 + \frac{(a^2 - b^2)^2}{a^2 + b^2} r^2 \right]$$

(M — масса жидкости) и, следовательно,

$$A = \frac{M}{5} \frac{(b^2 - c^2)^2}{b^2 + c^2} + ma'^2, \quad B = \frac{M}{5} \frac{(c^2 - a^2)^2}{c^2 + a^2} + mb'^2, \\ C = \frac{M}{5} \frac{(a^2 - b^2)^2}{a^2 + b^2} + mc'^2,$$

где m — масса тела; a', b', c' — радиусы инерции тела относительно осей эллипсоида (2), причем в рассматриваемом примере оси $Oxyz$ являются главными осями инерции тела для его неподвижной точки.

При этом неравенство (1) сводится к неравенству

$$\frac{(a^2 - c^2)(c^2 - b^2)[c^2(a^2 + b^2) + 2a^2b^2]}{(a^2 + b^2)(b^2 + c^2)(a^2 + c^2)} > \frac{5}{2} \frac{m}{M} (a'^2 + b'^2 - c'^2),$$

что имеет место, если $a > c > b$, а отношение массы тела к массе жидкости достаточно мало.

Если центр тяжести тела не совпадает с неподвижной точкой, то движение указанной в начале статьи механической системы описывается уравне-

иями Эйлера — Пуассона

$$A \frac{dp}{dt} + (C - B)qr = Q(z_0\gamma' - y_0\gamma''), \quad B \frac{dq}{dt} + (A - C)rp = Q(x_0\gamma'' - z_0\gamma'),$$

$$C \frac{dr}{dt} + (B - C)pq = Q(y_0\gamma - x_0\gamma'),$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = r\gamma' - q\gamma'', \quad \frac{d\gamma'}{dt} = p\gamma'' - r\gamma, \quad \frac{d\gamma''}{dt} = q\gamma - p\gamma',$$

где Q — вес данной механической системы; (x_0, y_0, z_0) — ее центр тяжести; $\gamma, \gamma', \gamma''$ — единичный вектор, направленный против действия силы тяжести. Известны некоторые решения этих уравнений ⁽²⁾. Здесь указывается еще одно частное решение. При условиях

$$y_0 = 0,$$

$$x_0(2C - A)\sqrt{A(C - B)(2C - A)} + z_0(C - 2A)\sqrt{C(A - B)(C - 2A)} = 0,$$

$$C > 2A > 2B$$

(для определенности считаем радикалы положительными, а $x_0 < 0$) это решение записывается так:

$$Ap = v(\cos \rho + \chi \sin \rho \cos \tau), \quad Cr = v(\sin \rho - \chi \cos \rho \cos \tau),$$

$$q = v\sqrt{\frac{(C - 2A)(2C - A)}{3AC[3AC - B(A + C)]}} \sin \tau,$$

$$\gamma = \frac{[3A(C - B)\sin^2 \tau + B(A + C)]\cos \rho + 3AC\chi \sin \rho \cos \tau}{3AC - B(A + C)},$$

$$\gamma'' = \frac{[3C(A - B)\sin^2 \tau + B(A + C)]\sin \rho - 3AC\chi \cos \rho \cos \tau}{3AC - B(A + C)},$$

$$\gamma' = \frac{\sqrt{3AC(C - 2A)(2C - A)}}{[3AC - B(A + C)]^{3/2}} \left\{ B - 3\chi \sqrt{\frac{AC(A - B)(C - B)}{(C - 2A)(2C - A)}} \cos \tau \right\} \sin \tau.$$

Переменная τ выражается посредством элементарных функций времени из уравнения

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{v}{3AC\sqrt{3AC - B(A + C)}} \{ \sqrt{(C - 2A)(2C - A)[3AC - 2B(A + C)]} + (A + C)\sqrt{3(A - B)(C - B)\cos \tau} \},$$

а постоянные ρ, χ, v определяются формулами

$$\cos \rho = \sqrt{\frac{C(A - B)(C - 2A)}{(C - A)[3AC - B(A + C)]}}, \quad \sin \rho = \sqrt{\frac{A(C - B)(2C - A)}{(C - A)[3AC - B(A + C)]}},$$

$$\chi = \sqrt{1 - \frac{2B(A + C)}{3AC}},$$

$$v = 3AC \sqrt[4]{\frac{Q^2(x_0^2 + z_0^2)(C - A)}{[3AC - B(A + C)][A(C - B)(2C - A)^3 + C(A - B)(C - 2A)^3]}}.$$

Поступило
9 VII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Е. Жуковский, О движении твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капальной жидкостью. Полн. собр. соч., 3, 1936. ² В. В. Голубев, Лекции по интегрированию уравнений движения тяжелого твердого тела около неподвижной точки, 1953.

С. С. ЛИТВИНКОВ

ОБ ОДНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

(Представлено академиком И. Н. Векуа 9 XII 1958)

1°. Рассмотрим линеаризованные уравнения неустановившегося движения вязкой несжимаемой жидкости в бесконечной области B , границей которой является достаточно гладкая замкнутая поверхность S . При отсутствии внешних сил эти уравнения имеют вид

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} + \nu \Delta \mathbf{v}, \quad \operatorname{div} \mathbf{v} = 0, \quad (1)$$

где \mathbf{v} — вектор скорости движений жидкости, \tilde{p} — давление, ρ — плотность, ν — кинематический коэффициент вязкости.

Предположим, что движение жидкости изменяется со временем по экспоненциальному закону, т. е. $\mathbf{v} = \mathbf{u}e^{-\alpha t}$; $\tilde{p} = pe^{-\alpha t}$ ($\alpha > 0$). В этом случае уравнения (1) приводятся к виду

$$\Delta \mathbf{u} + k^2 \mathbf{u} = \frac{1}{\mu} \nabla p, \quad \operatorname{div} \mathbf{u} = 0. \quad (2)$$

Здесь μ — вязкость жидкости, $k^2 = \alpha/\nu$.

Будем искать решение системы (2) в виде разложений в ряды по обобщенным сферическим функциям, введенным в работе (1). При этом мы исходим из следующей леммы.

Лемма. Всякая непрерывная вектор-функция, заданная и дифференцируемая на некоторой сфере радиуса r , разлагается в равномерно сходящийся ряд

$$\begin{aligned} u_r &= \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{n=-l}^l f_{0n}^l(r) T_{0n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right); \\ u_\theta &= \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=-l}^l i \left[f_{-1n}^l(r) T_{-1n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right) + f_{1n}^l(r) T_{1n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right) \right]; \\ u_\varphi &= \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{n=-l}^l \left[f_{-1n}^l(r) T_{-1n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right) - f_{1n}^l(r) T_{1n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где $T_{mn}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right) = p_{mn}^l(\cos \theta) e^{-in\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}$ ($m = -1, 0, 1$) — обобщенные сферические функции, $f_{mn}^l(r)$ — коэффициенты.

Доказательство леммы аналогично доказательству сходимости разложений в ряд Лапласа (2). Функцию p разложим в ряд по сферическим функциям

$$p = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{n=-l}^l f_{0n}^l(r) T_{0n}^l\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \theta, 0\right). \quad (4)$$

Подставляя разложения (3) и (4) в уравнения (2), найдем коэффициенты

$$\begin{aligned} f_{0n}^l(r) &= \sqrt{2} C_{1n}^l \frac{1}{kr} \zeta_l^{(2)}(kr) + \frac{\sqrt{2} C_{3n}^l}{\mu k^2} r^{-(l+2)}; \\ f_{1n}^l(r) &= \frac{C_{1n}^l}{\sqrt{2l(l+1)}} \left(\zeta_{l+1}^{(2)}(kr) - (l+1) \frac{\zeta_l^{(2)}(kr)}{kr} \right) + \\ &\quad + C_{2n}^l \zeta_l^{(2)}(kr) + \frac{C_{3n}^l}{\mu k^2} \sqrt{\frac{l}{2(l+1)}} r^{-(l+1)}; \\ f_{-1n}^l(r) &= \frac{C_{1n}^l}{\sqrt{2l(l+1)}} \left(\zeta_{l+1}^{(2)}(kr) - (l+1) \frac{\zeta_l^{(2)}(kr)}{kr} \right) - \\ &\quad - C_{2n}^l \zeta_l^{(2)}(kr) + \frac{C_{3n}^l}{\mu k^2} \sqrt{\frac{l}{2(l+1)}} r^{-(l+1)}; \\ f_n^l(r) &= -C_{3n}^l \frac{1}{l+1} r^{-(l+1)}, \end{aligned}$$

где $\zeta_l^{(2)}(z) = iz^l \left(-\frac{d}{z dz} \right) \frac{e^{-iz}}{z}$; $C_{1n}^l, C_{2n}^l, C_{3n}^l$ — константы.

Группа членов в (3) и (4) с одинаковыми l и n порождает частное решение системы (2)

$$\mathbf{u}_n^l = u_{rn}^l \mathbf{r}^0 + u_{\theta n}^l \vec{\theta}^0 + u_{\varphi n}^l \vec{\varphi}^0;$$

здесь $\mathbf{r}^0, \vec{\theta}^0, \vec{\varphi}^0$ — орты сферической системы координат. Каждое из этих решений на бесконечности обладает следующими свойствами:

$$\text{при } r \rightarrow \infty: \quad \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + i k \mathbf{u} = o(r^{-1}), \quad p = o(r^{-1}). \quad (5)$$

Из результатов И. Н. Векуа (^{3, 4}) следует, что для всякого решения системы уравнений (2), удовлетворяющего (5), выполнены условия

$$\text{при } r \rightarrow \infty: \quad \mathbf{u} = O(r^{-1}), \quad p = o(r^{-1}).$$

2°. Рассмотрим следующую граничную задачу:

Требуется найти в области V решение системы уравнений (2), удовлетворяющее условиям:

I. На границе S $\mathbf{u}|_S = \mathbf{F}(N)$, где N — точка границы.

II. На бесконечности выполняются соотношения (5).

Теорема. Решение граничной задачи I—II единственно.

Схема доказательства. Пусть для решения системы (2) выполнены условия (5) и $\mathbf{u}|_S = 0$. Подстановка $\mathbf{w} = \mathbf{u} - \frac{\nabla p}{\mu k^2}$ приводит к вектор-функции \mathbf{w} , удовлетворяющей уравнению Гельмгольца. Из (5) получаем соотношение

$$\iint_{S_R} |\mathbf{w}|^2 ds \rightarrow 0 \quad \text{при } R \rightarrow \infty, \quad (6)$$

где S_R — сфера радиуса R . Кроме того, \mathbf{w} удовлетворяет принципу излучения. По известной теореме (^{3, 5}) из (6) следует, что $\mathbf{w} \equiv 0$. Но $\mathbf{u}|_S = 0$, поэтому $\nabla p|_S = 0$ и, как гармонический вектор, $\nabla p \equiv 0$. Следовательно, $\mathbf{u} \equiv 0$ и $p \equiv 0$. Теорема доказана.

3°. Перейдем к доказательству существования решения рассматриваемой граничной задачи. Из членов разложений (3) и (4), соответствующих $l = 1$, можно составить два симметричных тензора второго ранга:

$$\Gamma(P, Q) \|u_{ij}\|, \quad \Pi(P, Q) = \left\| -\frac{\partial q_i}{\partial x_j} \right\|, \quad i, j = 1, 2, 3,$$

где

$$u_{ij} = \frac{1}{\mu} \left[\left(\frac{3(x_i - \xi_i)(x_j - \xi_j)}{r^5} - \frac{\delta_{ij}}{r^3} \right) \left(\frac{1}{k^2} (e^{-ikr} - 1) + \frac{ir}{k} e^{-ikr} \right) - \left(\frac{(x_i - \xi_i)(x_j - \xi_j)}{r^3} - \frac{\delta_{ij}}{r} \right) e^{-ikr} \right]; \quad q_i = \frac{x_i - \xi_i}{r^3}; \quad r = |\overline{PQ}|;$$

$$\delta_{ij} = 1 \quad \text{при } i = j; \quad \delta_{ij} = 0 \quad \text{при } i \neq j;$$

x_i и ξ_i — декартовы координаты точек P и Q . Тензоры $\Gamma(P, Q)$ и $\Pi(P, Q)$ удовлетворяют уравнениям (2):

$$\Delta \Gamma + k^2 \Gamma = \frac{1}{\mu} \Pi, \quad \text{div } \Gamma = 0,$$

и представляют собой фундаментальное решение системы уравнений (2).

Введем еще несимметричный тензор второго ранга

$$T_n(P, Q) = \|(T_k^i)_n\|,$$

где $(T_k^i)_n = \sum_{j=1}^3 \left[-q_i \delta_{kj} + \mu \left(\frac{\partial u_{ki}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_{ji}}{\partial x_k} \right) \right] n_j$. Здесь \mathbf{n} — единичный вектор нормали к поверхности S в точке Q .

Пусть на поверхности S заданы непрерывные вектор-функции $\mathbf{g}(Q)$ и $\vec{\omega}(Q)$. Построим аналоги потенциалов двойного и простого слоя:

$$\mathbf{W}(P) = \frac{1}{2\pi} \iint_S T_n(P, Q) \vec{\omega}(Q) ds, \quad (7)$$

$$\phi(P) = \frac{\mu}{2\pi} \sum_{i,j=1}^3 \left(2 \frac{\partial}{\partial x_i} \iint_S q_j n_j \omega_i(Q) ds + k^2 \iint_S \frac{\delta_{ij}}{r} n_j \omega_i(Q) ds \right);$$

$$\mathbf{V}(P) = -\frac{1}{2\pi} \iint_S \Gamma(P, Q) \mathbf{g}(Q) ds, \quad (8)$$

$$\varphi(P) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \iint_S \frac{1}{r} g_i(Q) ds.$$

Непосредственной проверкой убеждаемся, что потенциалы (7) и (8) удовлетворяют системе уравнений (2) и на бесконечности обладают свойствами (5). Кроме того, $\mathbf{V}(P)$ и $\mathbf{W}(P)$ аналитичны внутри и вне S и непрерывны на S . При переходе через поверхность S потенциал $\mathbf{V}(P)$ непрерывен, а $\mathbf{W}(P)$ удовлетворяет условию скачков

$$[\mathbf{W}(P)]_{(i)} = \vec{\omega}(N) + \mathbf{W}(N), \quad [\mathbf{W}(P)]_{(e)} = -\vec{\omega}(N) + \mathbf{W}(N). \quad (9)$$

Замечание. Из (7) и (8) при $k=0$ получаются гидродинамические потенциалы Одквиста ⁽⁶⁾.

Так же как это делалось другими авторами ^(3, 8) и др.) при рассмотрении аналогичных задач, решение граничной задачи I—II ищем в виде суммы потенциалов двойного и простого слоя

$$\mathbf{u}(P) = \mathbf{W}(P) + \mathbf{V}(P).$$

Приближая точку P к граничной точке N , из условий на границе S и из (9) получаем неопределенное уравнение для нахождения $\vec{\omega}(N)$ и $\mathbf{g}(N)$

$$-\vec{\omega}(N) + \frac{1}{2\pi} \iint_S T_n(N, Q) \vec{\omega}(Q) ds - \frac{1}{2\pi} \iint_S \Gamma(N, Q) \mathbf{g}(Q) ds = \mathbf{F}(N). \quad (10)$$

Это уравнение удовлетворяет условиям теоремы С. Г. Крейна (7) о существовании решения неопределенного уравнения в гильбертовом пространстве. При проверке выполнения этих условий используется теорема единственности. Из указанной теоремы следует существование функций $\vec{\omega}(Q)$ и $\vec{g}(Q)$, удовлетворяющих уравнению (10). По этим функциям с помощью формул (7) и (8) строится решение задачи I — II.

Автор приносит благодарность акад. И. Н. Векуа за ценные критические замечания, учтенные при написании работы.

Поступило
7 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Гельфанд, З. Я. Шапиро, Усп. матем. наук, **7**, 1 (47), 3 (1952).
² Е. В. Гобсон, Теория сферических и эллипсоидальных функций, ИЛ, 1952.
³ И. Н. Векуа, Тр. Тбилиск. матем. инст., **12**, 105 (1943). ⁴ И. Н. Векуа, ДАН, **30**, № 3 (1951). ⁵ В. И. Смирнов, Курс высшей математики, **4**, 1941. ⁶ F. K. G. O d q v i s t, Math. Zs., **32**, H. 3, 329 (1930). ⁷ С. Г. Крейн, Усп. матем. наук, **9**, 3 (61), 149 (1954). ⁸ H. W e y l, Math. Zs., **55**, 2 (1952).

А. С. ВОЛЬМИР и В. Е. МИНЕЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПУЧИВАНИЯ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 23 XII 1958)

М. А. Лаврентьев и А. Ю. Ишлинский⁽¹⁾ описали эксперимент в котором цилиндрическая труба сжималась внезапно приложенным давлением воды. В тех частях трубы, которые были расположены ближе

к источнику возмущения, наблюдались соответственно более высокие формы потери устойчивости. Ниже излагаются результаты опытов, в которых подсобный эффект динамичности нагружения оценивается с количественной стороны.

Установка, изготовленная для проведения экспериментов* (рис. 1), состоит из двух резервуаров 1, 2, вставленных один в другой и заполненных маслом. Образец 3, представляющий собой круговую цилиндрическую оболочку, находится во внутреннем резервуаре; верхний торец образца остается открытым. Отверстие в днище внутреннего резервуара закрывается клапаном 4, связанным с системой пружин. В наружном резервуаре создается повышенное давление в пределах от 5 до 50 ат; при этом сжимается находящаяся в верхней части резервуара газовая «подушка» 5. При внезапном открытии клапана во внутреннем резервуаре происходит гидравлический удар, передающийся на образец; с известным приближением можно считать, что образец подвергается при этом динамическому нагружению всесторонним равномерным давлением. Изменение во времени давления в нескольких точках резервуара измеряется специальными датчиками 6; сигналы от которых фиксируются на ленте шлейфового осциллографа. Датчик омического сопротивления 7, наклеенный на наружную и внутреннюю поверхности

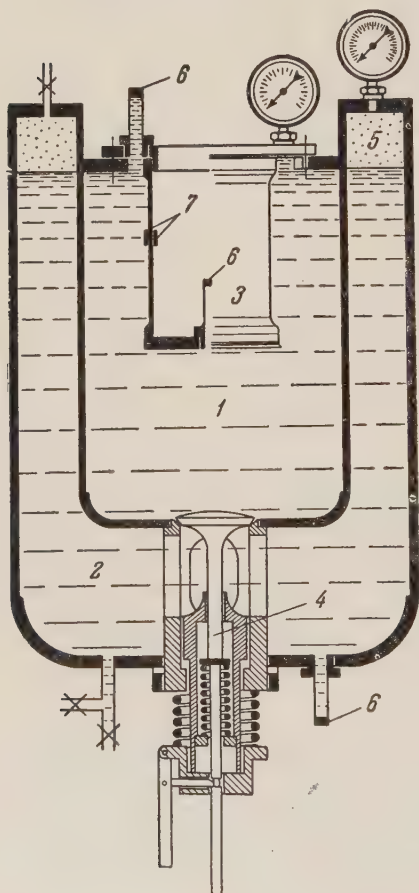


Рис. 1

сти образца, позволяют определить деформации удлинения в соответствующих точках; показания датчиков также передаются на осциллограф

* В проектировании установки и проведении опытов принимал участие В. С. Смирнов

при испытаниях варьировали разность давлений во внешнем и внутреннем резервуарах, а также время открытия клапана, что позволило получить различные скорости нарастания давления в пределах от 2000 до 6500 ат/сек.

На рис. 2 приведена осциллограмма испытания, полученная для одного из образцов. Линия 1 отвечает изменению давления вблизи нижнего торца оболочки, кривые 2 и 3 — упругим деформациям, соответственно, на внутренней и внешней поверхности; при этом деформация укорочения откладывается для кривой 2 вниз, а для кривой 3 вверх. Штрихи отметчика времени расположены через 0,002 сек.

Судя по линиям 2 и 3, в первый период динамического нагружения деформации имеют одинаковый знак (укорочение); затем деформация у внутренней поверхности резко меняет знак (точка *a* кривой 2), это соответствует моменту выпучивания оболочки.

Таким образом, для ряда образцов была найдена критическая нагрузка в зависимости от скорости нарастания давления (см. табл. 1); толщина дюрлюминиевых оболочек составляла 0,8 мм, длина 200 мм, радиус срединной поверхности 90 мм. В таблице даны также коэффициент динамической пере-

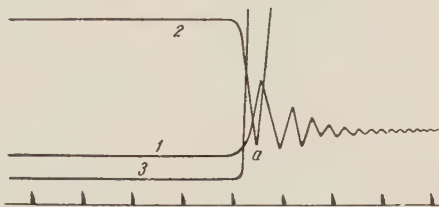


Рис. 2

Таблица 1

	Статич. нагруз. (из опыта)	Скорость нарастания давления, ат/сек				
		2000	3340	4700	5000	6500
Критическ. давление, ат	2,5	6,75	7,1	8,1	9,0	10,1
Коэффициент динамическ. перегрузки	—	2,66	2,8	3,19	3,54	3,98
Число волн	6	7	8	8	9	9

грузки — отношение измеренного давления к верхней критической нагрузке (2,54 ат), определенной для данной оболочки из решения статической задачи ⁽²⁾, — и число волн, образовавшихся по окружности оболочки.

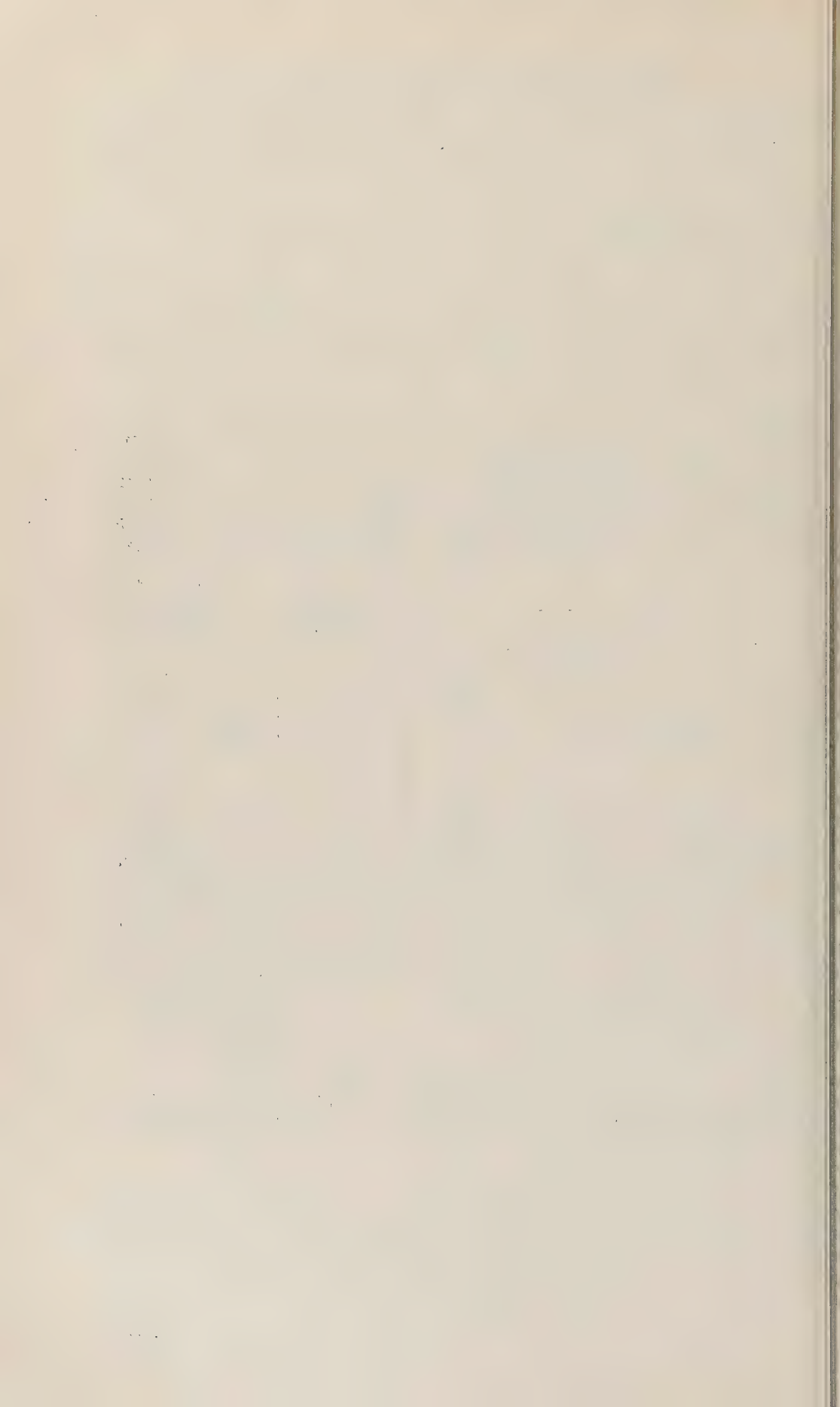
Как видим, с увеличением скорости нагружения изменяется форма волнообразования, что выражается в возрастании числа волн по окружности. Вместе с тем резко повышается несущая способность оболочки в стадии нагружения. Эти данные согласуются с результатами решения нелинейной задачи об устойчивости оболочек при динамическом нагружении ⁽³⁾.

Военно-воздушная инженерная академия
им. Н. Е. Жуковского

Поступило
23 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. А. Лаврентьев, А. Ю. Ишлинский, ДАН, 64, № 6 (1949). ² А. С. Вольмир, Гибкие пластинки и оболочки, М.—Л., 1956. ³ А. С. Вольмир, ДАН, № 5 (1958).



Е. М. БЕЛАВЦЕВА

**ЗАКОН ВЗАИМОЗАМЕСТИМОСТИ ДЛЯ ПРОЦЕССА
РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ**

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 13 I 1959)

Известно, что в процессе электронографического исследования ряд высокомолекулярных соединений под действием электронов переходит из кристаллического состояния в аморфное (¹⁻³). Изучение причин, вызывающих этот переход (⁴), а также измерение температуры объекта при исследовании его в электронографе и электронном микроскопе (⁵) позволили установить, что разупорядочение ряда кристаллических природных органических соединений наступает в результате ионизирующего действия электронного пучка.

Теоретический и практический интерес при изучении взаимодействия ионизирующего излучения с веществом представляет вопрос о выполнении закона взаимозаместимости, т. е. зависимости величины наблюдаемого эффекта только от экспозиции Et , где E — интенсивность излучения, t — время облучения диэлектрика. Вопрос о выполнении закона взаимозаместимости рассматривается в ряде работ по радиационной (^{6, 7}), а также в работах, посвященных исследованию фотоэлектрического состояния в диэлектриках и явления электрфотографии на фотоэлектриках (^{8, 9}). Как известно, закон взаимозаместимости ранее исследовался для фотохимических реакций в галлоидных серебрах. В частности, в работе (¹⁰) были отмечены отклонения от закона взаимозаместимости, наблюдаемые при фотографическом действии электронов средних энергий (30—80 кв).

В настоящей работе проверка закона взаимозаместимости при взаимодействии электронов средних энергий с диэлектриком производилась с помощью электронографического метода. По электронограммам определялось время перехода природных органических соединений из кристаллического состояния в аморфное при различной интенсивности излучения. Время облучения t измерялось по секундомеру от начала облучения до исчезновения последнего резкого интерференционного максимума, что регистрировалось как визуально, так и на фотопластинке.

Облучение объектов производилось в электронном микроскопе УЭМ-00, позволяющем получать как электронномикроскопические снимки, так и электронограммы. Плотность тока на объекте j_0 определялась с помощью цилиндра Фарадея, который помещался на уровне конечного экрана. По плотности тока на экране j_s вычислялась плотность тока на объекте ($j_0 = j_s M^2$, где M — увеличение объективной линзы).

Поскольку закон взаимозаместимости при действии электронов на диэлектрик изучался применительно к процессу структурного превращения веществ, необходимо было устранить нагрев объекта как возможную причину наблюдаемых структурных изменений. С этой целью, на основании ранее проведенной работы (⁵), был выбран такой режим облучения, при котором нагревание объекта не превышало 50°. В качестве объектов нами были выбраны β -каротин и грамицидин С, которые, как было показано ранее (⁴), теряют свою кристалличность в процессе электронографического исследования в результате ионизирующего действия электронов. Объекты были нанесены на коллодиевую пленку-подложку из растворов. Для грамицидина С в качестве растворителя использовался 70° спирт, для β -каротина — петролейный эфир.

При облучении β -каротина и грамицидина было замечено, что время в течение которого вещество переходит из кристаллического состояния в аморфное, зависит как от интенсивности облучения, так и от энергии падающих электронов. При уменьшении интенсивности облучения и увеличении энергии электронов увеличивается время нахождения под пучком

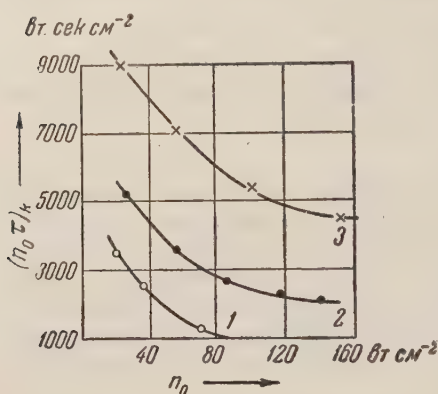


Рис. 2. Зависимость экспозиции $n_0\tau$ (вт.сек.см⁻²), необходимой для перехода β -каротина из кристаллического состояния в аморфное, от мощности потока энергии n_0 (вт.см⁻²) при трех значениях ускоряющего напряжения: 1 — $V=40$ кв; 2 — $V=60$ кв; 3 — $V=100$ кв

времени τ (экспозиция) уменьшается, причем более резкий спад наблюдается в области малых интенсивностей. Это означает, что для постоянной энергии падающих электронов эффект перехода диэлектрика из кристаллического состояния в аморфное не определяется однозначно экспозицией $n_0\tau$. Следовательно, при ионизирующем действии электронов на каротин и грамицин имеет место отклонение от закона взаимозаместимости в указанном выше смысле. По-видимому, процессы разупорядочения кристаллов каротина и грамицидина зависят не только от общего числа электронов, упавших на объект, но и от интервала времени между их попаданием. Таким образом, играет роль коллективное действие электронов.

Отклонение от закона взаимозаместимости более сильно сказывается в области малых значений интенсивности излучения. К сожалению, нам не удалось исследовать зависимость $n_0\tau = f(n_0)$ для плотности тока на объекте $j_0 < 1 \cdot 10^{-4}$ а/см². Проверка закона взаимозаместимости в области большей интенсивности ($j_0 > 5 \cdot 10^{-3}$ а/см²) не имела смысла, так как при плотности тока $j_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ а/см² и выше наблюдался сильный нагрев объекта.

В заключение приношу глубокую благодарность проф. Я. Л. Шехтману и В. М. Фридкину за ряд ценных замечаний.

Лаборатория электронной микроскопии
при Отделении биологических наук]
Академии наук СССР

Поступило
7 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. J. Trillat, Koll. Zs., **69**, 378 (1934). ² А. Л. Зайдес, И. Г. Синица, ДАН, **80**, № 2 (1951). ³ Е. М. Белавцева, Биофизика, **2**, 628 (1957).
- ⁴ E. Belawtzeva, Vierter Internationaler Kongress für Elektronenmikroskopie, Programm, Berlin, September, 1958, S. 163. ⁵ И. Г. Стоянова, Е. М. Белавцева, Изв. АН СССР, сер. физ., **23**, № 6 (1959). ⁶ Я. Л. Шехтман, Тр. Инст. биол. физ., **1**, 99 (1955). ⁷ Я. Л. Шехтман, Г. Б. Радзиевский и др., Биофизика, **3**, 312 (1958). ⁸ В. М. Фридкин, Н. Т. Кашукеев, И. С. Желудев, ДАН, **117**, 804 (1957). ⁹ В. М. Фридкин, ДАН, **121**, 627 (1958). ¹⁰ И. А. Корнер, ЖЭТФ, **20**, 401 (1950).

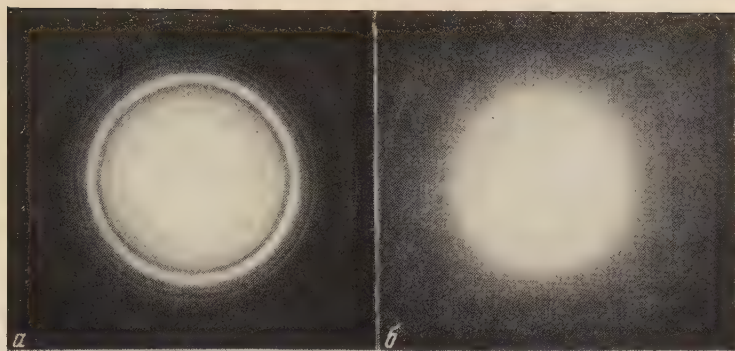


Рис. 1. Электронограммы от β -каротина. *a*—до облучения; *б*— после интенсивного облучения электронами

К статье А. В. Топчиева, В. П. Алания и И. С. Мазель, стр. 1048

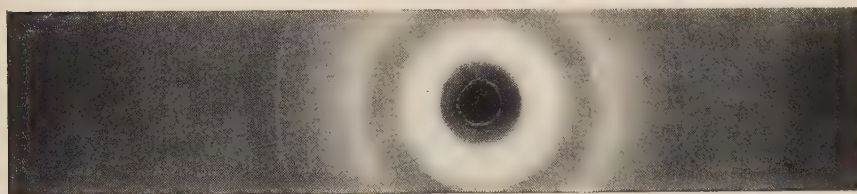


Рис. 3. Рентгенограмма полимера β -нитростирола

К статье В. Е. Кумана, стр. 1100

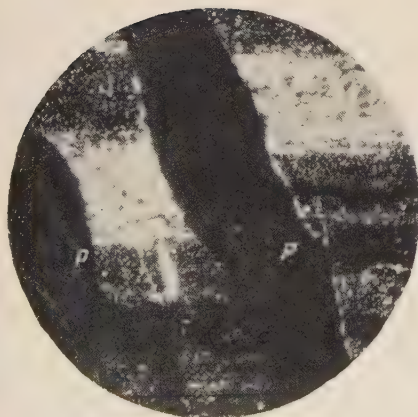


Рис. 2

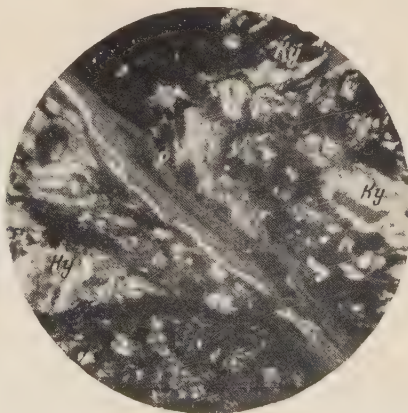


Рис. 3

Рис. 2. Жилы щелочного амфибола в магнетито-мартитовом кварците. (Шл. № 36; 51 \times ; николи скрещены). *P* — щелочной амфибол

Рис. 3. Жила щелочного амфибола и ее зона околотрещинного метасоматоза в магнетито-куммингтонитовом кварците. Породообразующий куммингтонит частично ошелочен. Шл. № 327; 64 \times ; никсли параллельны). *P* — щелочной амфибол, *Ку* — куммингтонит)

М. А. МОКУЛЬСКИЙ, Ю. С. ЛАЗУРКИН, М. Б. ФИВЕЙСКИЙ и В. И. КОЗИН

ОБРАТИМЫЕ РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЛИМЕРАХ

(Представлено академиком А. П. Александровым 8 I 1959)

В результате действия ионизирующих излучений механические свойства полимеров могут изменяться в сильной степени. Изменения, наблюдаемые в облученных полимерах, необратимы и обусловлены протеканием химических реакций (сшивание, деструкция и др.). Структура и свойства облученных полимеров являлись предметом многочисленных исследований, состояние же полимерных веществ непосредственно в процессе облучения, несмотря на очевидную важность вопроса, изучалось лишь в отдельных работах по электрическим и оптическим свойствам; механические свойства полимеров под облучением вообще не исследовались.

Целью настоящей работы явилось исследование некоторых механических свойств полимеров в процессе облучения. При этом желательно было воспользоваться достаточно мощным источником излучения, в качестве которого был выбран ядерный реактор (¹). Работа производилась в охлаждаемых водой вертикальных каналах. Предварительно были измерены потоки нейтронов и γ -квантов, а также энергетическая доза, получаемая образцами. Последняя определялась по начальной скорости нагрева дозиметрических образцов, изготовленных из тех же веществ, что и исследуемые образцы. Изменяя мощность реактора, можно было варьировать мощность дозы в пределах до $\sim 50\,000$ рад/сек.

Канал заполнялся водой, которая обеспечивала теплосъем с образцов. Температура внутри образцов не превышала температуры воды в канале более, чем на 1° . Контрольные опыты с образцами поливинилхлорида, защищенными от воды пленкой каучука, показали отсутствие влияния ионизованной воды на механические свойства.

Было построено несколько простых приборов, позволяющих измерять механические характеристики полимеров под облучением. Образцы помещались в их нижней части, погружавшейся в канал реактора. В частности, таким образом был приспособлен для работы в реакторе прибор (см. (²)) для получения кривых растяжения (σ — ϵ). Образцы представляли собой войные лопатки сечением рабочей части 2×2 мм. В приборе находилось одновременно от 4 до 12 образцов.

Нами были исследованы полимеры, различные по радиационной стойкости и по характеру основных радиационно-химических изменений (сшивание — в полистироле, в резинах на основе нитрильного и натурального каучуков, деструкция — в полиизобутилене, политетрафторэтилене, полиэтилметакрилате и в пластифицированном и непластифицированном поливинилхлориде)*.

При сравнении механических свойств образцов, находящихся в поле излучения, со свойствами исходных образцов и облученных, но испытываемых после облучения, были обнаружены обратимые радиационно-механические эффекты. Они состоят во временном,

* В последних двух материалах скорости деструкции и сшивания сравнимы.

обратимом изменении механических свойств полимеров. Это изменение возникает во время облучения и исчезает при прекращении облучения.

Нами наблюдались следующие обратимые эффекты:

1. Снижение прочности полиметилметакрилата.
2. Снижение предела вынужденной эластичности σ_v ⁽²⁾ поливинилхлорида.
3. Увеличение разрывных удлинений поливинилхлорида.
4. Увеличение скорости релаксации напряжений в исследованных материалах.
5. Увеличение скорости крипа поливинилхлорида, полистирола, тефлона и резин.

Остановимся более подробно на пп. 2 и 5.

На рис. 1 изображена зависимость σ_v поливинилхлорида от интегральной дозы. Кривые 1 и 2 (измерения во время облучения) идут значительно ниже кривой 3, полученной после облучения. Эффект обратимого снижения $\sigma_v \sim 25\%$ при мощности дозы 46 000 рад/сек (и интегральной дозе 60 Мрад) и возрастает приблизительно линейно с увеличением мощности дозы. При выключении облучения обратимый эффект исчезает за время менее 1 мин.; сохраняется лишь остаточный эффект, отвечающий кривой 3.

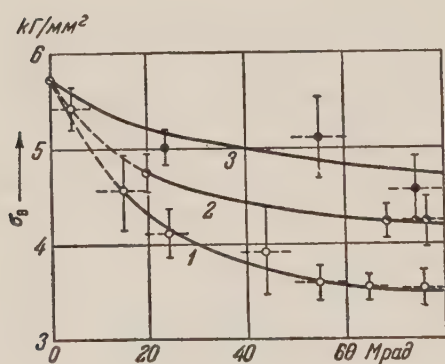


Рис. 1

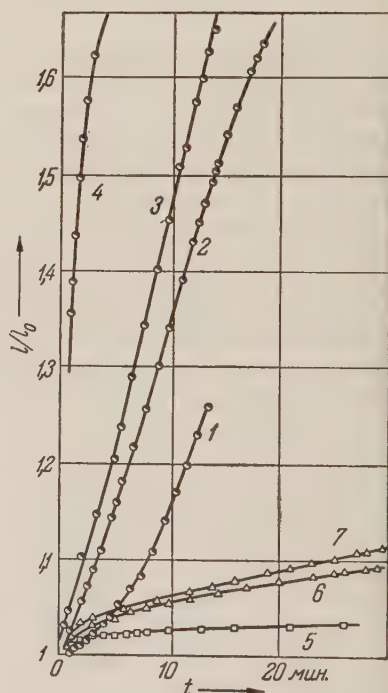


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость предела вынужденной эластичности поливинилхлорида σ_v от интегральной дозы. 1 и 2 — в процессе облучения с интенсивностью соответственно 46 000 и 16 000 рад/сек. 3 — σ_v облученных образцов, испытанных после прекращения облучения. Температура опытов 50—55°. На рисунке изображены результаты усреднения данных нескольких опытов. Интервалы значений σ_v и интегральной дозы, полученной образцами до измерения, указаны вертикальными черточками и пунктиром

Рис. 2. Крип в поливинилхлориде. Напряжение 1 кг/мм²; температура 57—60°. 1, 2, 3 и 4 — крип в процессе облучения (интенсивность 46 000 рад/сек) в образцах, нагруженных соответственно через 2; 10; 15 и 50 мин. после начала облучения; дозы, полученные этими образцами до начала крипа, соответственно, 5; 6; 28; 42 и 140 Мрад; 5, 6 и 7 — крип в поле облучения: 5 — необлученный образец; 6 и 7 — образцы, получившие дозы 50 и 250 Мрад

На рис. 2 приведена зависимость деформации поливинилхлорида под действием постоянного груза от времени. Скорость крипа под облучение (кривые 1—4) значительно выше, чем до и после облучения (кривые 5—7). В табл. 1 приводятся значения скорости крипа (в области времен, где он приблизительно постоянен) в различных условиях. В результате необратимого эффекта деструкции скорость крипа возрастает (при напряжении

0,5—1 кГ/мм²) в 3—10 раз, а во время облучения она обратимо увеличивается еще в 20—25 раз. Этот эффект, как и обратимое снижение σ_v , возрастает с увеличением мощности дозы.

Более однозначное сравнение скоростей крипа под облучением и без облучения достигается в опытах с включением и выключением облучения образца, в котором непрерывно идет крип.

Наблюдают крип образца без облучения, затем, не прерывая опыта, прибор погружают в зону облучения; наблюдают ускорение крипа. Затем реактор останавливают и вновь наблюдают замедление крипа. Процессы включения и снятия облучения занимают небольшое время (0,5 мин. или менее). Тем самым в этих опытах обеспечивается одинаковость всех условий испытания (интегральная доза, время пребывания образца под нагрузкой, удлинение и т. п.) и в чистом виде выделяется действие облучения на скорость крипа*. Кривые, полученные по описанной схеме, изображены на рис. 3 и 4, из которых ясно видно большое обратимое изменение скорости крипа при включении и выключении облучения.

Природа обратимых радиационно-механических эффектов может быть, вообще говоря как физической, так и химической. То, что они наблюдаются как в сшивающихся, так и в деструктурирующих полимерах, свидетельствует, на первый взгляд,

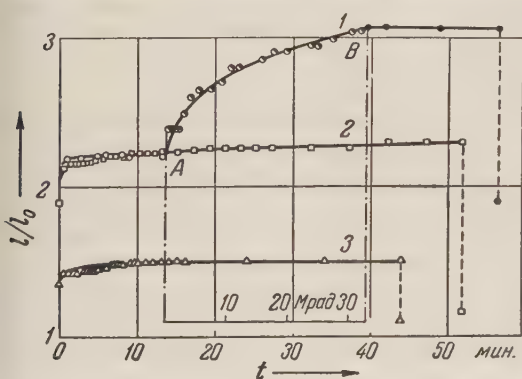


Рис. 3. Крип в резине на основе нитрильного каучука СКН-18. Напряжение 9,5 кГ/см², температура 45°. 1 — крип в реакторе, точка А — включение облучения с интенсивностью 23000 рад/сек, точка В — выключение облучения; за время крипа под облучением образец получил дозу 33 Мрад; 2 и 3 — крип вне поля облучения: 2 — необлученный образец; 3 — образец, получивший дозу 84 Мрад

против химического механизма, в пользу некоторого общего, не зависящего от химических свойств полимера. Такой общий механизм можно представить себе следующим образом.

Возбужденные в результате взаимодействия с ионизирующей частицей молекулы проходят в процессе диссипации энергии через состояния более слабых возбуждений, недостаточных для разрыва химических связей, но соответствующих кратковременным локальным нагревам до высоких температур. Это может приводить к ускорению релаксационных процессов и изменению ряда свойств вещества.

Для проверки этого предположения нами был поставлен опыт по крипу поливинилхлорида при облучении сильным пучком видимого света, энергия квантов которого достаточна для возбуждения внутримолекулярных колебаний, но недостаточна для разрыва химических связей.

* Правда, при переходе от одного режима к другому наблюдается некоторое изменение температуры (обычно ~2—3°), но опыт и расчет показывают, что оно неспособно объяснить наблюдаемых изменений скорости крипа; чтобы вызвать подобные скачки, потребовалось бы изменение температуры на 10—30° и более.

Таблица 1

Скорость крипа непластифицированного поливинилхлорида (мощность дозы 46 000 рад/сек, температура 50°)

Напряжение, кГ/мм ²	Крип вне поля облучения ($\frac{dl}{dt} \cdot 10^3$, сек. ⁻¹)		Крип в поле облучения ($\frac{dl}{dt} \cdot 10^3$, сек. ⁻¹) после получения дозы 40—50 Мрад
	необлучен. материал	облучен. материал (доза 50 Мрад)	
0,5	0,1—0,3	1	22
1,0	1,1	3,3	70—75
2,0	1,9—6,5	33—70	75—150

В этом опыте мощность энергетической дозы была примерно на порядок больше, чем в реакторе. Тепло отводилось проточной водой. Вначале был обнаружен эффект ускорения крипа под облучением. Однако с улучшением теплоотвода (путем уменьшения толщины образцов) он стремился к нулю. Как показали дальнейшие расчеты, отрицательный результат опыта не может рассматриваться как доказательство невозможности физического механизма, так как условия опыта (температура, энергия квантов) были, по-видимому, невыгодны для обнаружения искомого эффекта.

Некоторая корреляция между выходом необратимых радиационно-химических процессов и величиной обратимых эффектов заставляет более внимательно рассмотреть и химический механизм. Так, один из наиболее стойких материалов — полистирол — обнаруживает и наиболее слабый обратимый эффект. С другой стороны полиизобутилен и, особенно, политетрафторэтилен, обладающие малой радиационной стойкостью, обнаруживают большое обратимое ускорение крипа уже при малых мощностях дозы (1200 рад/сек для тефлона и 5800 рад/сек для полиизобутилена).

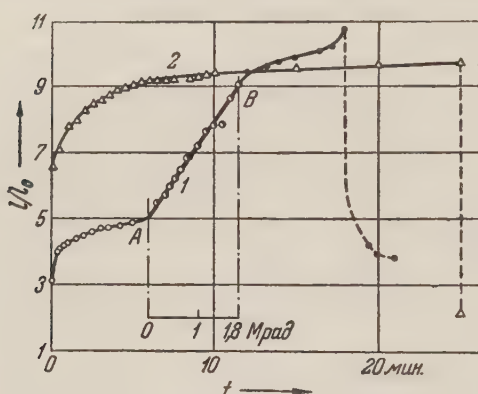


Рис. 4. Крип в резине на основе полиизобутилена. Напряжение $6,6 \text{ кг/мм}^2$, температура 20° , 1 — крип в реакторе, точка A — включение облучения с интенсивностью 5800 рад/сек, точка B — включение облучения; за время крипа под облучением образец получил дозу 1,8 Мрад; 2 — крип вне поля облучения в материале, получившем дозу 2,5 Мрад

В процессе облучения создается некоторая стационарная концентрация свободных радикалов и промежуточных продуктов, обращающаяся в нуль после прекращения облучения. Разрывы цепей и появление низкомолекулярных образований могут сказываться на механических свойствах материала. Можно себе представить, что при наличии механических напряжений за время существования «временных» разрывов молекул будет происходить как накопление деформации, так и ускоренное развитие процесса разрушения.

В какой мере подобный механизм может дать количественное объяснение обратимых радиационно-механических эффектов, должно показать дальнейшее исследование.

Поступило
23 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Сборн. Реакторостроение и теория реакторов, Изд. АН СССР, 1955, стр. 91.
- ² Ю. С. Лазуркин, Р. Л. Фогельсон, ЖТФ, 21, в. 3, 267 (1951).

Академик И. К. КИКОИН, Е. М. БУРЯК и Ю. А. МУРОМКИН

ОБ АНОМАЛЬНО БОЛЬШОМ ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА В ФЕРРОМАГНИТНОМ СПЛАВЕ ХРОМ — ТЕЛЛУР

При исследовании гальваномагнитных эффектов в ферромагнитных сплавах из неферромагнитных компонент мы обнаружили аномально большое значение ферромагнитного коэффициента Холла в сплаве хром — теллур (50 атомн. %).

Под ферромагнитным коэффициентом Холла мы понимаем значение коэффициента R_J , определяемого уравнением ^(1,2)

$$\mathbf{E} = R_J [\mathbf{J}] + R_0 [\mathbf{H}] \quad (1)$$

или соответствующим ему уравнением

$$U_H = R_J J \frac{i}{d} + R_0 H \frac{i}{d}, \quad (1a)$$

где \mathbf{E} — электрическое поле, U — соответствующая ему разность потенциалов, возникающие в образце с током плотности \mathbf{j} (сила тока i) под влиянием поперечного магнитного поля \mathbf{H} и соответствующего ему намагничивания \mathbf{J} ; d — толщина образца, R_0 — «классический» коэффициент Холла.

Для обычных (неферромагнитных) металлов первый член правой части уравнения (1) или (1a) равен нулю.

Для теории гальваномагнитных эффектов представляет интерес исследование каждого из коэффициентов R_J и R_0 . В настоящей работе мы основное внимание сосредоточим на изучении ферромагнитного коэффициента Холла R_J .

В табл. 1 значение ферромагнитного коэффициента Холла R_J , полученного нами для сплава хром — теллур, сопоставлено со значениями этого коэффициента для других ферромагнетиков ^(3,4). Имея в виду температурную зависимость коэффициента R_J , сравнение производится при одинаковых значениях приведенных температур T/θ , где θ — температура Кюри. Для нашего сплава $\theta = 54^\circ$ (по измерению магнетокалорического эффекта). Насколько нам известно, столь большое значение ферромагнитного коэффициента Холла — в 100 раз большее, чем у железа, наблюдается впервые.

Особый интерес представляет исследование температурной зависимости эффекта Холла и, в частности, измерение его при переходе через точку Кюри. Сравнительно низкая температура Кюри и большой эффект Холла делают наш сплав особенно пригодным для таких исследований. В связи с этим мы исследовали температурную зависимость эффекта Холла в сплаве Cr — Te ниже и выше точки Кюри (от температуры жидкого азота до 300°). Ниже приводятся основные результаты.

Таблица 1

Вещество	$\frac{T}{\theta}$	$R_J \cdot 10^{10} \frac{\text{в} \cdot \text{г}}{\text{а} \cdot \text{гаусс} \cdot \text{см}^2}$
Cr — Te	0,286	—560,0
Железо	0,286	+6,2
Cr — Te	0,465	—680,0
Никель	0,465	—5,3

1. Эффект Холла ниже точки Кюри. На рис. 1 приведены кривые зависимости разности потенциалов Холла $U_H \frac{d}{l}$ от напряженности магнитного поля H при разных температурах. Экстраполируя к $H = 0$ линейную часть кривых при больших значениях поля, при которых намагничивание достигло насыщения J_S , мы получаем значение разности потенциалов Холла U_{HS} , соответствующее намагничиванию насыщения J_S образца при данной температуре (4)

$$U_{HS} = R_J J_S \frac{l}{d}. \quad (2)$$

Вспользовавшись известными значениями намагничивания насыщения J_S для сплава Cr—Te (5), мы вычислили из (2) коэффициент R_J . Температурная зависимость R_J приведена на рис. 2.

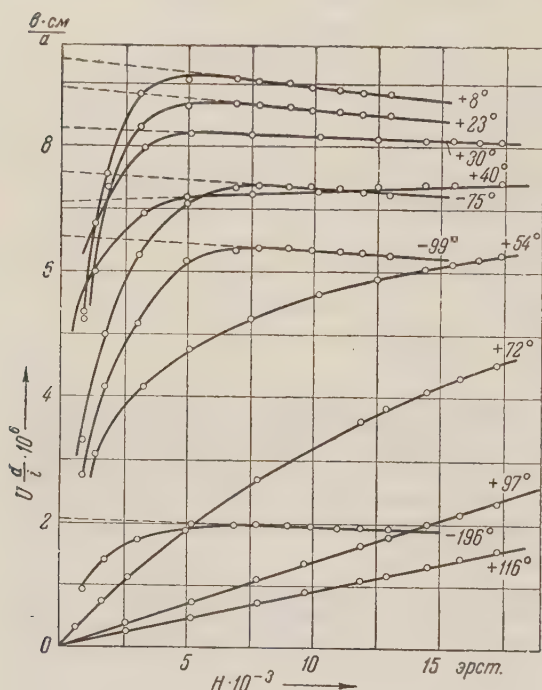


Рис. 1

Из теоретических соображений, развитых в (6), следует, что ферромагнитный коэффициент Холла R_J непосредственно связан со значением квад

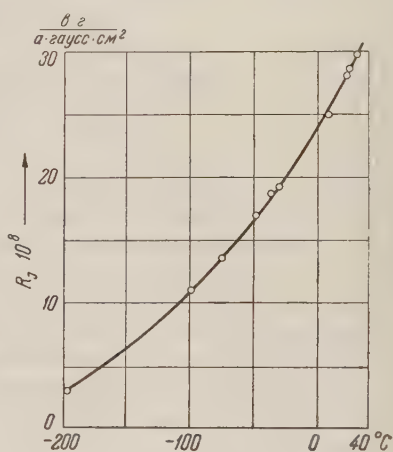


Рис. 2

рата спонтанного намагничивания J_{sp}^2 . Естественно предположить, что наблюдаемая температурная зависимость коэффициента R_J обусловлена температурной зависимостью спонтанного намагничивания J_{sp} . В связи с этим на рис. 3 построена зависимость R_J от J_{sp}^2 , которая, как легко видеть, может быть представлена в виде

$$R_J = a(\beta - J_{sp}^2).$$

Существенно, что постоянная β с достаточно хорошей точностью совпадает со значением J_0^2 — квадратом спонтанного намагничивания при абсолютном нуле, которое, по данным (5), равно

$$J_0^2 = (72)^2 \left(\frac{\text{гаусс} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} \right)^2.$$

Таким образом, зависимость ферромагнитного коэффициента Холла от спонтанного намагничивания может быть представлена в виде

$$R_J = a(J_0^2 - J_{sp}^2). \quad (3)$$

Из рис. 3 следует, что при $J_{sp} = 0$, т. е. выше точки Кюри

$$R_{J(T \geq T_c)} = 35 \cdot 10^{-8} \frac{\text{В} \cdot \text{Г}}{\text{а} \cdot \text{гаусс} \cdot \text{см}^2}.$$

2. Эффект Холла выше точки Кюри. Выше точки Кюри разность потенциалов Холла U_H пропорциональна напряженности магнитного поля, как и в обычных металлах, т. е.

$$U_H = RH \frac{i}{d}.$$

Представляло интерес проверить на нашем сплаве справедливость установленной в свое время закономерности (⁷), по которой и в парамагнит-

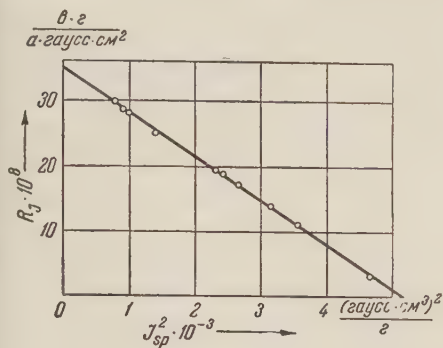


Рис. 3

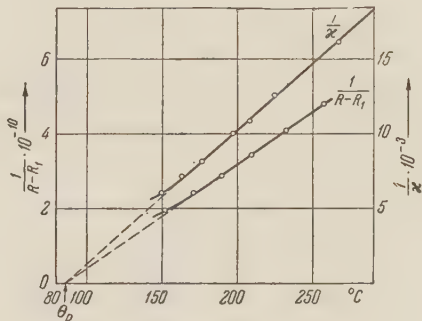


Рис. 4

ной области разность потенциалов Холла складывается из части, пропорциональной намагниченности, и части, пропорциональной напряженности магнитного поля.

Намагниченность образца в парамагнитном состоянии $J = \chi H$, где χ — магнитная восприимчивость. При справедливости указанной закономерности

$$U_H = R_p \chi H \frac{i}{d} + R_1 H \frac{i}{d}$$

или

$$R = R_p \chi + R_1, \quad (4)$$

где R_p — парамагнитный коэффициент Холла (по аналогии с ферромагнитным коэффициентом R_J), R_1 — нормальный коэффициент Холла, который может и отличаться от R_0 .

Справедливость (4) может быть проверена благодаря зависимости магнитной восприимчивости χ от температуры, которая обычно подчиняется закону Кюри — Вейсса:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta}.$$

Действительно, в предположении, что R_p и R_1 не зависят от температуры значение $R - R_1 = R_p \chi$ должно меняться с температурой по закону Кюри — Вейсса.

В соответствии с этим мы исследовали температурную зависимость коэффициента Холла R и магнитной восприимчивости χ сплава Cr — Те выше точки Кюри. Результаты измерений приведены на рис. 4 в виде кривых зависимости $\frac{1}{R - R_1}$ и $\frac{1}{\chi}$ от температуры T . Из этих кривых непосредственно следует, что «парамагнитная» слагающая коэффициента Холла, так же как и парамагнитная восприимчивость действительно подчиняются зако-

ну Кюри — Вейсса с одинаковой в обоих случаях температурой Кюри $\Theta_p = 86^\circ$. Существенно отметить, что значение R_p , полученное из этих измерений, весьма близко совпадает со значением $R_{J(T \geq \Theta)}$, полученным из измерений ниже точки Кюри:

$$R_p = 32,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{в} \cdot \text{г}}{\text{а} \cdot \text{гаусс} \cdot \text{см}^2}.$$

Учитывая сравнительно невысокую точность определения коэффициентов R_p и R_0 , следует считать совпадение весьма удовлетворительным.

Поступило
24 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. К. Киконин, Sow. Phys., **9**, 1 (1936). ² E. M. Pugh, N. Rostoker, Rev. Mod. Phys., **25**, 151 (1953). ³ S. Foner, Phys. Rev., **101**, 1648 (1956). ⁴ J. P. Jan, H. M. Gijssman, Physica, **18**, 339 (1952). ⁵ C. Guillaud, C. R. **222**, 1224 (1946). ⁶ С. В. Вонсовский, Л. Я. Кобелев, К. П. Родионов, Изв. АН СССР, сер. физ., **16**, 569 (1952). ⁷ И. К. Киконин, ЖЭТФ, **10**, 1242 (1940).

Б. В. ЧИРИКОВ

ПРОХОЖДЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕРЕЗ РЕЗОНАНС

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 14 I 1959)

Рассмотрим нелинейный осциллятор с одной степенью свободы, описываемый гамильтонианом

$$\mathcal{H} = p^2/2M + U(x, \lambda_1) + \varepsilon U_1(x, \lambda, \vartheta),$$

$$\lambda_1 = \lambda_1(\tau), \quad \lambda = \lambda(\tau, x, \dot{x}, \ddot{x}, \dots), \quad d\vartheta/dt = \Omega(\tau). \quad (1)$$

Параметр λ_1 характеризует адиабатические процессы в системе; член с U_1 (периодический по ϑ) характеризует внешние возмущения (в частности, прохождение через резонанс), а также диссипативные и автоколебательные процессы; $\tau = \varepsilon t$ — «медленное время»; ε — малый параметр.

Методика исследования таких нелинейных колебаний рассматривалась в работах (1, 2). Прохождение через резонанс для случая слабой нелинейности рассматривалось в работах (1, 3). Кроме того, при исследовании фазового режима в ускорителях релятивистских частиц также фактически встречалось прохождение нелинейного осциллятора через резонанс (см., например, (4-6)). Однако, вследствие применения численных методов в первой группе работ и прикладного характера работ второй группы, это явление не было изучено с достаточной полнотой. Здесь описывается простой метод нахождения решения непосредственно из гамильтониана (1) и исследуется процесс прохождения нелинейного осциллятора через резонанс.

Пусть невозмущенная система ($\varepsilon = 0$) имеет периодическое решение, зависящее от двух постоянных W и φ и параметра λ_1 :

$$x = x(W, \vartheta, \lambda_1), \quad \vartheta = \int \omega(W, \lambda_1) dt + \varphi, \quad dx/dt = \omega \partial x / \partial \vartheta,$$

$$W = p^2/2M + U(x, \lambda_1). \quad (2)$$

При наличии малых возмущений ($\varepsilon \rightarrow 0$) перейдем к медленно изменяющимся переменным W и φ . Используя соотношение $\dot{W} = \dot{\lambda}_1 \partial W / \partial \lambda_1 + [W, \mathcal{H}]$, где $[,]$ — скобки Пуассона, найдем

$$\frac{dW}{dt} = \varepsilon \frac{d\lambda_1}{d\tau} \frac{\partial W}{\partial \lambda_1} - \varepsilon \frac{\partial U_1}{\partial x} \dot{x}. \quad (3)$$

Далее, $dx/dt = \dot{W} \partial x / \partial W + (\omega + \dot{\varphi}) \partial x / \partial \vartheta + \dot{\lambda}_1 \partial x / \partial \lambda_1 = \omega \partial x / \partial \vartheta$. Последнее равенство связано с тем, что $dx/dt = \partial \mathcal{H} / \partial p$ и не зависит от возмущений. Так как $\partial x / \partial \vartheta = \dot{x} / \omega$, то

$$\frac{d\varphi}{dt} = \varepsilon \frac{\partial U_1}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial W} \omega - \frac{\varepsilon \omega}{x} \frac{d\lambda_1}{d\tau} \left(\frac{\partial x}{\partial W} \frac{\partial U}{\partial \lambda_1} + \frac{\partial x}{\partial \lambda_1} \right). \quad (4)$$

Уравнения (3), (4) являются точными уравнениями в «медленных» переменных W и φ . Применим к ним общий метод усреднения (7), причем конкретизируем вид U_1 : $U_1(x, \lambda, \vartheta) = U_1(x, \vartheta, \tau) + x(\lambda + \lambda')$; $\lambda = \alpha(\tau) \dot{x}$; $\lambda' = -\beta(\tau) \ddot{x}$. Кроме того, не будем рассматривать адиабатические процессы. Разлагая

правые части (3), (4) в ряды Фурье по θ и ϑ и усредняя их по периоду невозмущенного движения, получим уравнения первого приближения:

$$\begin{aligned}\dot{W} &= \frac{\varepsilon}{2} \sum_{m\Omega \approx l\omega} P_{ml} \cos \psi_{ml} - \varepsilon P_0; \\ \dot{\psi}_{ml} &= m\Omega(\tau) - l\omega(W) - \frac{\varepsilon}{2} l \sum_{p\Omega \approx q\omega} Q_{pq} \sin \phi_{pq}; \\ P_{ml}(W, \tau) &= l\omega a_l f_{m,0} + \omega \sum_n n a_n (f_{m, |l-n|} - f_{m, l+n}); \\ Q_{ml}(W, \tau) &= \omega \frac{da_l}{dW} f_{m,0} + \omega \sum_n \frac{da_n}{dW} (f_{m, |l-n|} + f_{m, l+n}); \\ P_0(W, \tau) &= \frac{\alpha}{2} \omega^2 \sum_n n^2 a_n^2 + \frac{\beta}{2} \omega^4 \sum_n n^4 a_n^2; \\ \psi_{ml} &= m\vartheta + \gamma_m - l\theta; \quad x = \sum_n a_n(W) \cos n\theta; \\ \frac{\partial U_1}{\partial x} &= \sum_{m,n} f_{m,n}(W, \tau) \sin(m\vartheta + \gamma_m \pm n\theta).\end{aligned}$$

Заметим, что сумма в уравнении для $\dot{\psi}_{ml}$, представляющая поправку частоте осциллятора, приводит к эффектам второго порядка в изменении и может быть отброшена в первом приближении, если мы интересуемся изменением только W^* .

Простейшим случаем является быстрое прохождение через резонанс, когда можно пренебречь скоростью изменения частоты осциллятора ($\dot{W}\omega'$) в сравнении со скоростью изменения частоты внешней силы ($\varepsilon d\Omega/d\tau$) (1), что справедливо при условии

$$|l\omega' P_{ml} (d\Omega/d\tau + l\omega' P_0)^{-1}| \ll 1.$$

При этом решение уравнений (5) выражается известным образом через интегралы Френеля и асимптотически (если пренебречь затухающими колебаниями) имеет вид ($P_0 = 0$)^{*}:

$$\Delta W = \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sum_{m\Omega \approx l\Omega} P_{ml} \left| m \frac{d\Omega}{d\tau} \right|^{-1/2} \cos \left(\psi_{ml_0} + \frac{\pi}{4} \right).$$

Если фазы колебаний в момент прохождения резонанса (ψ_{ml_0}) можно считать случайными, то $\overline{\Delta W} = 0$. Следовательно, в первом приближении имеет место лишь «рассеяние» по энергии — эффект, пропущенный в работах (8).

При невыполнении условия (6) рассмотрим вначале случай единственного резонанса ($m = l = 1$)^{**}. Дифференцируя второе уравнение (5) по t , подставляя в него первое, получим

$$\psi''(y) = 1 - A \cos \psi, \quad (7)$$

$$A = \omega' P / 2\Omega_3', \quad y = t \sqrt{\varepsilon (d\Omega/d\tau + \omega' P_0)} = t \sqrt{\varepsilon \Omega_3'}, \quad \psi'(0) = 0, \quad \psi(0) = \psi_0.$$

В дальнейшем будем считать Ω_3' и A положительными и постоянными. Если $\Omega_3' < 0$, то в решении нужно изменить знак y времени. Если $A < 0$,

* Строго говоря, это справедливо при условии $AP_{ml} \ll lW^2\omega'$, которое может выполняться в случае слабой нелинейности ($\omega' = d\omega/dW \rightarrow 0$).

** Нелинейность осциллятора ($\omega' \neq 0$) не обязательно связана с ангармоничностью. Вращение релятивистской частицы в магнитном поле дает пример нелинейного, но гармонического осциллятора. Наоборот, бетатронные колебания в ускорителе с жесткой фокусировкой могут быть линейными, но не гармоническими.

остаточно изменить все фазы на π . Первый интеграл (8) имеет вид

$$\frac{1}{2}(\psi')^2 = \psi - \psi_0 - A(\sin \psi - \sin \psi_0). \quad (9)$$

Исследование уравнения (9) удобно производить графически, построив функции $\psi/A + B$ и $\sin \psi$ (рис. 1). Разность между ними дает величину $(\psi')^2/2A$, а точки пересечения соответствуют прохождению резонанса. Так как для действительного движения должно быть всегда $\psi/A + B > \sin \psi$ ($(\psi')^2 > 0$), то после пересечения знак ψ' изменяется на обратный. Из рис. 1 видно, что существуют два качественно различных режима прохождения

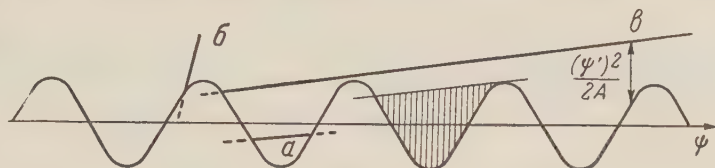


Рис. 1

через резонанс. Первый из них (представленный прямой a , имеющей две точки пересечения) характеризуется ограниченным колебанием фазы ψ и многократным прохождением через резонанс ($\psi' = 0$). Этот режим хорошо изучен (4-6) для специального случая (ускорители релятивистских частиц), где он известен под названием захвата или автофазировки. Захват возможен лишь при $A > 1$ и при определенных начальных условиях, показанных на рис. 1 штриховкой. Отметим, что в случае $A \gg 1$ захват происходит практически при любой фазе колебаний.

Другой режим (представленный прямыми $б$ и $в$) характеризуется однократным прохождением осциллятора через резонанс. Рассмотрим его подробнее. Интегрируя (9) и используя соотношение $\omega' \Delta W = \Delta \omega = \omega_n + \dot{\psi} - \Omega$ (5), найдем асимптотическое (пренебрегая затухающими колебаниями) изменение энергии осциллятора:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \frac{V \sqrt{2\varepsilon \Omega_3'}}{\omega'} C(A, \psi_0) = \\ &= \frac{V \sqrt{2\varepsilon \Omega_3'}}{\omega'} \int_0^\infty \{[\psi - A(\sin(\psi + \psi_0) - \sin \psi_0)]^{-1/2} - \psi^{-1/2}\} d\psi, \end{aligned} \quad (10)$$

где произведена замена $\psi - \psi_0 \rightarrow \psi$. При быстром прохождении через резонанс ($A \ll 1$) интеграл в (10) равен

$$\begin{aligned} &= V \sqrt{\pi} A \cos \varphi + (V \sqrt{\pi}/2) A^2 (\sin 2\varphi + \cos 2\varphi + V \sqrt{2} \sin^2 \varphi - V \sqrt{2} \sin \varphi \cos \varphi), \\ &\varphi = \psi_0 + \pi/4. \end{aligned} \quad (11)$$

Первый член приводит к (7), второй представляет малую нелинейную поправку. Его среднее значение (при равномерности фаз φ) отлично от нуля:

$$\bar{C} = V \sqrt{\pi/2} A^2/2, \quad \overline{\Delta W} = V \sqrt{\varepsilon} (V \sqrt{\pi}/8) \omega' P^2 / \Omega_3'^{3/2}, \quad (12)$$

что приводит к замедлению прохождения осциллятора через резонанс. Знак $\overline{\Delta W}$ совпадает со знаком $\omega' \Omega_3'$.

В обратном предельном случае ($A \gg 1$)

$$C(A, \xi) = V \sqrt{\frac{2}{A}} \ln \frac{64}{(1+A+\xi)(4\pi/A-\xi^2)} - \frac{4V\sqrt{2}}{\pi} \sqrt{A \left(1 - \frac{\xi^2}{4}\right) + 2\pi}, \quad (13)$$

т.е. фаза $\xi = \psi_0 - \pi/2$ в момент резонанса заключена в узких пределах (см. 1)

$$-1/A < \xi < \sqrt{4\pi/A}. \quad (14)$$

Для большинства фаз (исключая экспоненциально малые области на границах (14)) результат прохождения резонанса не зависит от фазы. Знак ΔW противоположен знаку $\omega' \Omega_3'$.

При $A \rightarrow \infty$

$$\Delta W = -(4/\pi) \sqrt{2P/\omega'} \quad (11)$$

и не зависит от Ω_3' . Это означает, что в рассматриваемом режиме нет непрерывного перехода к стационарному случаю при $\Omega_3' \rightarrow 0$. Такой переход имеет место лишь при наличии захвата. Заметим, что под стационарностью понимается в данном случае не только постоянство частоты внешнего воздействия, но и консервативность колебательной системы ($P_0 \ll P$, см. (8)).

Если колебания осциллятора и внешнее возмущение не являются гармоническими, то одновременно проходит целый ряд резонансов ($km\Omega = kl\omega$; k — любое целое положительное число). Уравнения (5) принимают в этом случае вид

$$\dot{W} = \frac{s}{2} \sum_k P_{km, kl} \cos k \phi_{ml}, \quad \dot{\phi}_{ml} = m\Omega - l\omega. \quad (12)$$

Но стоящая справа сумма есть некоторая периодическая функция фаз ϕ_{ml} . Поэтому все отличие решения (16) от решения (8) сведется к замене гармонических функций на другие периодические, т. е., по существу, к изменению числовых коэффициентов.

В настоящей заметке задача о прохождении нелинейного осциллятора через резонанс решена в первом приближении. Эффекты второго порядка поправка к частоте, медленное изменение A , действие не учтенных в (1) резонансов могут, вообще говоря, качественно изменить решение. Так, в режиме захвата может произойти постепенный выход из резонанса, а при однократном прохождении резонанса может, наоборот, произойти захват.

Устойчивость обоих режимов по отношению к действию неучтенных фазовых флуктуаций определяется адиабатическим изменением амплитуды фазовых колебаний после захвата. При возрастании амплитуды устойчивым является режим однократного прохождения через резонанс, при уменьшении — режим захвата. Кроме того, можно показать, что в случае отсутствия явной зависимости A от времени и при выполнении условия* $\varepsilon^2 Q^2 \ll \varepsilon P \omega' \ll (\Delta\Omega)^2$ действие перечисленных выше факторов незначительно; в частности, малая вероятность захвата при однократном прохождении через резонанс.

Подчеркнем, что наиболее интересной и важной особенностью нелинейных эффектов при медленном прохождении через резонанс ($A \gg 1$) является их независимость от начальной фазы колебаний. Это приводит, в частности, к обратимости процесса даже при наличии «размешивания» по фазе.

Пользуюсь случаем выразить глубокую благодарность Г. И. Будкеру и Ю. Ф. Орлову за интересные дискуссии и полезные советы.

Поступило
19 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. А. Митропольский, Нестационарные процессы в нелинейных колебательных системах, АН УССР, 1955.
- ² В. М. Волосов, ДАН, **121**, № 1, 22 (1958).
- ³ Ю. Ф. Орлов, ЖЭТФ, **32**, в. 2, 316 (1957).
- ⁴ В. И. Векслер, ДАН, **44**, № 3, 393 (1944).
- ⁵ Е. М. МсMillan, Phys. Rev., **68**, № 5—6, 143 (1945).
- ⁶ Е. М. Митропольский, Кандидатская диссертация, ФИАН, 1958.
- ⁷ Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский, Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, М., 1958.
- ⁸ N. M. Blachman, Rev. Sci. Inst., **21**, № 11, 908 (1950).
- ⁹ Л. Л. Гольдберг, Д. Г. Кошкарев, ЖЭТФ, **31**, в. 5, 803 (1956).
- ¹⁰ Ю. Ф. Орлов, ЖЭТФ, **32**, в. 5, 130 (1957).

* Это условие имеет простой физический смысл: частота фазовых колебаний $V \varepsilon P \omega'$ должна быть много больше ширины резонансной кривой εQ , но много меньше интервала между резонансами $\Delta\Omega$, равного наименьшей из частот Ω , ω .

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. В. МЕНЬ, С. Я. БРАУДЕ и В. И. ГОРБАЧ

**ФЛУКТУАЦИИ ФАЗОВЫХ ФРОНТОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ
ДЕСЯТИСАНТИМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ МОРЯ**

(Представлено академиком Б. А. Введенским 8 I 1959)

Исследования флуктуаций амплитуд и фаз радиоволн необходимы для разработки статистической теории распространения, а также представляют интерес для изучения физических процессов, происходящих в тропосфере.

В ранее опубликованных работах основное внимание уделялось амплитудным флуктуациям радиосигналов. Фазовые флуктуации исследовались только в зоне прямой видимости, в основном над сушей⁽¹⁻³⁾. Данная статья посвящена наименее исследованному вопросу — экспериментальному изучению флуктуаций фазовых фронтов в морских условиях*. Изменения проводились на волне $\lambda = 10$ см при вертикальной поляризации в летне-осенний (июль — сентябрь) и осенне-зимний (октябрь — декабрь) периоды на чисто морской фиксированной трассе длиной 33 км в пределах освещенной зоны, «полутени» и «тени». Переход из одной зоны в другую достигался сменой высот подъема антенн передатчика, установленных на 9; 13 и 35 м над уровнем моря.

В исследованиях использовалась дифференциальная методика, позволяющая путем измерения пульсации разностей фаз э. д. с., возбужденных рядом приемных антенн, определять величину и степень декорреляции флуктуаций волнового фронта в разнесенных точках. С этой целью шесть приемных антенн располагались вдоль прямой, проходившей на высоте 4 м перпендикулярно к трассе распространения в 15—20 м от уреза воды, на фиксированных удалениях 2; 5; 10; 30 и 100 м по отношению к первой опорной антенне. Каждое измерение производилось одновременно для двух смежных разностей приемных антенн, причем для учета влияния нестационарности процессов в последующих измерениях дублировался один из разносов предыдущего измерения. Длительность измерения для каждой пары разносов составляла 5÷10 мин.; весь интервал фиксированных разносов проходил примерно за 30 мин. для каждой из трех высот передатчика.

Аппаратура позволяла измерять фазовые флуктуации в диапазоне частот от 0,01 до 100 гц. Кроме того, предусматривалась возможность отфильтровывания и раздельной индикации низкочастотных ($< 0,3$ гц) и высокочастотных ($> 0,3$ гц) спектральных составляющих, так называемых «медленных» и «быстрых» флуктуаций.

Проведенные измерения показали, что, за редким исключением, флуктуации разностей фаз были распределены по нормальному закону. Однако наблюдаемые флуктуации лишь условно могут быть отнесены к стационарным случайным процессам (особенно «медленные» флуктуации при максимальных разносах и высотах подъема антенн). Отмечались различные случаи флуктуаций разностей фаз сигналов. Зависимость интенсивности флуктуаций от разноса сохранялась качественно подобной во всех опытах. Зна-

* Известно лишь небольшое число работ, проведенных к тому же в специфических условиях (4,5)

чительно большее разнообразие наблюдалось в характере высотной зависимости, которая вследствие этого была положена в основу классификации опытов.

Все измерения могут быть разделены на четыре основные группы.

1. Квazистационарный стандартный тип фазовых флуктуаций. К нему относится большинство опытов.

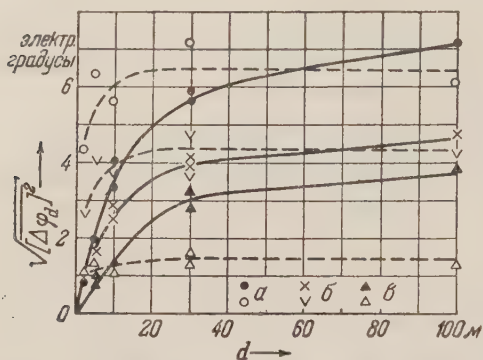


Рис. 1. Сплошные кривые — «медленные» флуктуации; пунктирные кривые — «быстрые» флуктуации. а — $h_1 = 9$ м; б — $h_1 = 18$ м; в — $h_1 = 35$ м

флуктуаций при больших разносах ($d > 30$ м) указывает на значительную декорреляцию флуктуаций фаз сигналов в разнесенных антеннах. Характерно, что декорреляция «медленных» флуктуаций наступает значительно позже, чем для «быстрых». Поэтому влияние высокочастотной части спектра фазовых флуктуаций наиболее существенно при малых разносах d , что свидетельствует о деформации спектра флуктуаций при изменении разноса между приемными антеннами. Спектральный состав зависит также и от высоты передающих антенн. Уменьшение разноса и высот антенн приводит к относительному расширению спектров. Во всех случаях имеется тенденция резкого уменьшения спектральной плотности с увеличением частоты. 90—95% энергии флуктуаций обычно распределено в полосе до 5 гц.

2. Нестационарный тип флуктуаций характеризуется резкой нестационарностью флуктуаций. В этих опытах отмечались существенные изменения характера и интенсивности фазовых пульсаций при повторных измерениях и даже в течение одного измерения; однако основные зависимости и характеристики в среднем оказались качественно такими же, как и для 1-го случая. Следует отметить, что 1-й и 2-й типы флуктуаций охватывали около 70% летних и более 90% зимних опытов.

3. Аномальный тип фазовых флуктуаций. Измерения этой группы характеризовались резко отличающейся от стандартного типа высотной зависимостью, когда интенсивность флуктуаций монотонно увеличивалась с ростом высоты или имела максимум. Данные одного из

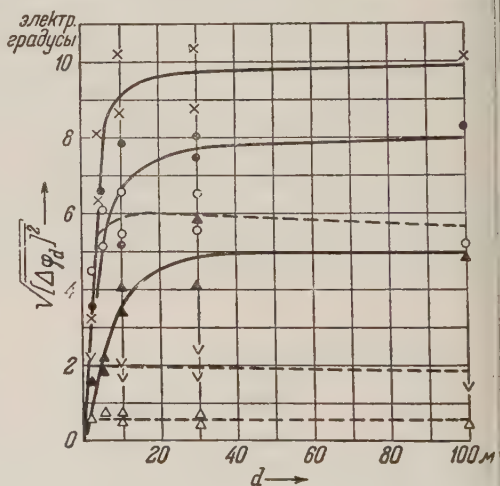


Рис. 2. Обозначения те же, что на рис. 1

пыты приведены на рис. 2. Аномальность высотной зависимости особенно явно проявлялась для «медленных» флуктуаций; «быстрые» флуктуации, как правило, отличались более высокой стабильностью своих характеристик. (Опыты с резко выраженной аномалией встречались сравнительно редко (~10% опытов летом и осенью). Значительно чаще (~20%) наблюдались случаи со слабо выраженной либо явно отсутствующей высотной зависимостью. Следует отметить, что разрушение нормальной высотной характеристики обычно начиналось при больших разнотах: отмечен ряд опытов с аномальной высотной зависимостью при больших разностях и нормальной — при малых. Это, по-видимому, связано с тем, что вертикальная анизотропия нижних слоев тропосферы, в основном, определяется крупномасштабными неоднородностями. Обычно резко выраженная аномальность сопровождалась большой нестационарностью фазовых флуктуаций.

4. Ф л у к т у а ц и о н н ы е «вспышки». В нескольких опытах отмечалось кратковременное, необычайно резкое увеличение интенсивности флуктуаций, названное «флуктуационными вспышками». В течение нескольких минут фазовые флуктуации быстро возрастали ($\Delta\varphi > 2\pi$), сопровождаясь глубокими изменениями амплитуды. Продолжительность

того состояния обычно не превышала нескольких десятков минут, после чего вновь восстанавливалась обычная картина флуктуаций. Своеобразный характер фазовых и амплитудных флуктуаций, наблюдаемых при «вспышках», приводит к выводу, подтверждаемому теоретическим рассмотрением в рамках геометрической оптики, что причиной их является не аномальное повышение величины пульсаций диэлектрической проницаемости среды, изменение средней рефракции на трассе, приводящее к интерференционному минимуму в месте приема.

В опытах всех типов, наряду с изменением характера флуктуационных зависимостей, отмечались колебания величины интенсивности флуктуаций от одного измерения к другому, причем наибольшим изменениям были подвержены флуктуации при минимальных разнотах (см. рис. 3). Повышение неустойчивости величин флуктуаций разности фаз при уменьшении разноты может быть объяснено увеличением при этом зависимости их от коэффициента корреляции пульсаций фаз, величина которого определяется изменением «масштаба неоднородностей».

Поскольку неустойчивость фазовых фронтов непосредственно связана состоянием среды, представляет интерес сопоставление измеренных флуктуаций со средней метеорологической обстановкой на трассе. Как следует из рис. 3, увеличение скорости ветра и волнения моря обычно сопровож-

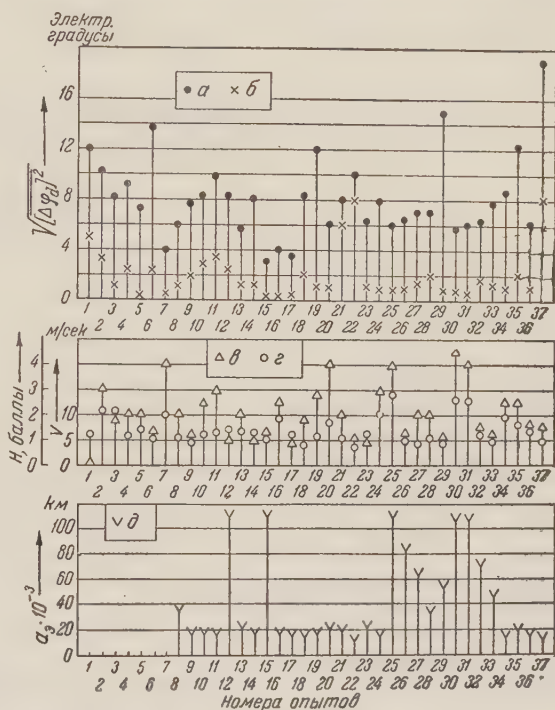


Рис. 3. Изменение интенсивности флуктуации в опытах летне-осеннего периода. a — интенсивность флуктуаций при $d = 100$ м; b — интенсивность флуктуаций при $d = 2$ м; v — волнение моря (H); g — скорость ветра (v); d — эквивалентный радиус земли (a_0).

далось понижением интенсивности фазовых флуктуаций. Уменьшение флуктуаций также имело место при повышенной радиорефракции (вплоть до $a_s = c$) и при пасмурных и дождливых погодах. Наибольшие флуктуации наблюдались при безветренных солнечных погодах, при отсутствии волнения моря.

Расчет флуктуаций разности фаз при различных разнсах в направлении, перпендикулярном трассе распространения, проведен для неограниченного пространства (⁶⁻¹⁰). В связи с отсутствием аналогичных вычислений для полупространства, ограниченного поверхностью раздела, было проведено сопоставление экспериментальных данных с формулами работ (⁶⁻¹⁰).

Результаты такого сопоставления для одного из опытов приведены на рис. 4. Здесь сплошными линиями даны расчетные зависимости от разности d средних квадратов флуктуаций $\overline{\Delta\varphi_d^2}$ разности фаз для ряда значений

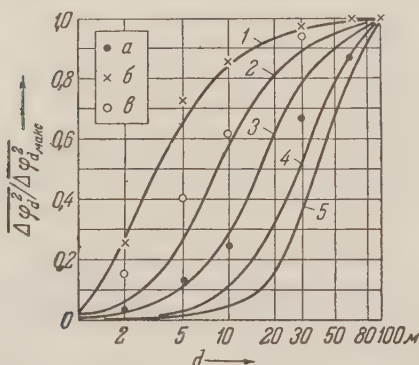


Рис. 4. Сплошные линии — расчетные зависимости, точки — экспериментальные данные при $h_1 = 18$ м и $h_2 = 4$ м. a — «медленные» флуктуации, $б$ — «быстрые» флуктуации, $в$ — «комплексные» флуктуации. 1 — $l_0 = 2$ м, 2 — 5 м, 3 — 10 м, 4 — 20 м, 5 — 30 м

удовлетворительно согласуется с формулой (1). При этом для «медленных» флуктуаций величина l_0 оказалась порядка 10—30 м, для «быстрых» 1—3 м. В случае, когда воспроизводился весь спектр флуктуаций, отмечался промежуточный вид зависимости интенсивности флуктуаций от разнса и параметр l_0 составлял 3—10 м, несколько увеличиваясь с подъемом антенны передатчика. Сужение спектра флуктуаций при интерионных измерениях вызывает значительное замедление нарастания интенсивности флуктуаций с разнсом, что приводит к кажущемуся увеличению параметра l_0 .

Авторы выражают благодарность В. Ф. Шульге, О. М. Лебедеву и Б. Ф. Веберу, принявшим большое участие в проведении измерений.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук УССР

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. W. Herbstrait, M. C. Thompson, PIRE, 43, № 10, 1391 (1955).
- ² A. P. Deam, B. M. Fannin, PIRE, 43, № 10, 1402 (1955).
- ³ W. M. Sharpless, PIRE, 34, № 11, 837 (1946).
- ⁴ A. W. Straiton, J. R. Gerhardt, PIRE, 36, № 7, 916 (1948).
- ⁵ A. W. Straiton, PIRE, 37, № 7, 808 (1949).
- ⁶ А. М. Обухов, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 2, 155 (1953).
- ⁷ Л. А. Чернов, ДАН, 98, № 6, 95 (1954).
- ⁸ В. Н. Каравайников, Акуст. журн., 2, № 2 (1957).
- ⁹ R. B. Muchmore, A. D. Wheelon, PIRE, 43, № 10, 1437 (1955).
- ¹⁰ A. D. Wheelon, R. B. Muchmore, PIRE, 43, № 10, 1450 (1955).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

П. Ф. ФИЛЬЧАКОВ

О МОДЕЛИРОВАНИИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ
ПОЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ БУМАГЕ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 19 XII 1958)

Многие задачи теории поля обладают осевой симметрией. Особенно часто такие задачи встречаются в электронной оптике, электро- и радиотехнике, гидро- и аэромеханике. Ряд новых весьма интересных осесимметричных задач в теории струй поставил М. А. Лаврентьев ⁽³⁾.

Обычно осесимметричные задачи моделируются в электролитической ванне. Однако погрешности, вызываемые электрохимическими процессами, и сложность техники эксперимента затрудняют широкое использование метода электроаналогий.

В данной заметке излагается методика моделирования осесимметричных задач на электропроводной бумаге, которая до сих пор применялась только для моделирования плоских (двумерных) потенциальных полей ⁽¹⁻⁶⁾. Отметим, что техника моделирования осесимметричных задач на электропроводной бумаге чрезвычайно проста и ничем не отличается от техники моделирования плоских задач, а достигаемая точность вполне достаточна для многих технических задач.

При наличии осевой симметрии уравнение Лапласа можно представить в виде

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0. \quad (1)$$

Тогда, в соответствии с условиями существования физической аналогии ⁽⁶⁾, удельная проводимость среды для моделирования осесимметричных задач вдоль оси r должна быть постоянной, а вдоль оси z изменяться по линейному закону:

$$\sigma_z = \text{const}, \quad \sigma_r = kr \quad (k = \text{const}). \quad (2)$$

Среду, удовлетворяющую условиям (2), с достаточной для практики точностью легко изготовить из электропроводной бумаги согласно схеме, представленной на рис. 1. На этой схеме удельная проводимость бумаги условно изображается ее толщиной.

Для более точной аппроксимации в окрестности оси надо один-два нижних слоя изготовить из более высокоомных сортов бумаги. В тех же случаях, когда поле изучается только на некотором расстоянии от оси, всю среду можно изготовить из одного сорта электропроводной бумаги.

Отдельные листы бумаги склеиваются между собою электропроводным клеем, рецепт которого был разработан ранее В. И. Панчишиным ^{(6)*}. Каждый лист электропроводной бумаги надо полностью замочить в теплом разбавленном растворе клея, затем удалить избыток клея и тщательно прика-

* Желатины фотографической 10—15 г, спирта этилового 15—20 г, сажи газовой просеянной 5—10 г, воды 65 г. Сажа растворяется в спирте и смешивается затем с нагретым на водяной бане до 50—60° водно-желатиновым раствором. При отсутствии желатины можно применить хороший столярный клей.

тать резиновым фотографическим валиком к предыдущим листам. Склеивать и сушить полученный картон надо на листе плексигласа (от которого он после высыхания легко отделяется) под воздухопроницаемым прессом.

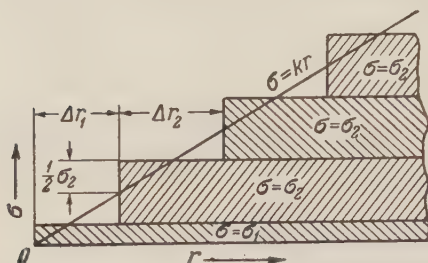


Рис. 1

Смещение всех остальных слоев $\Delta r_2^* = 30,0$ мм. При этом мы пользовались электропроводной бумагой промышленного производства, разработанной и изготовленной под руководством Б. Б. Гутмана ⁽²⁾.

Рассмотрим несколько типичных задач.

Задача 1. Цилиндрический конденсатор. Данная задача является контрольной и служит для проверки качества изготовления осесимметричного электропроводного картона.

В табл. 1 сопоставлены теоретические значения $u_T = \lg \frac{r}{r_0} : \lg \frac{R}{r_0}$ (где r_0 и R — внутренний и внешний радиусы конденсатора) с результатами электро моделирования u_3 при условии $R:r_0 = 10$, а также приведена абсолютная погрешность $\delta = u_T - u_3$. Измерения были проведены вдоль прямой $z = 5r_0$. Вдоль других прямых $z = \text{const}$ отклонение результатов от значений, приведенных в табл. 1, не превышало $\pm 0,002$.

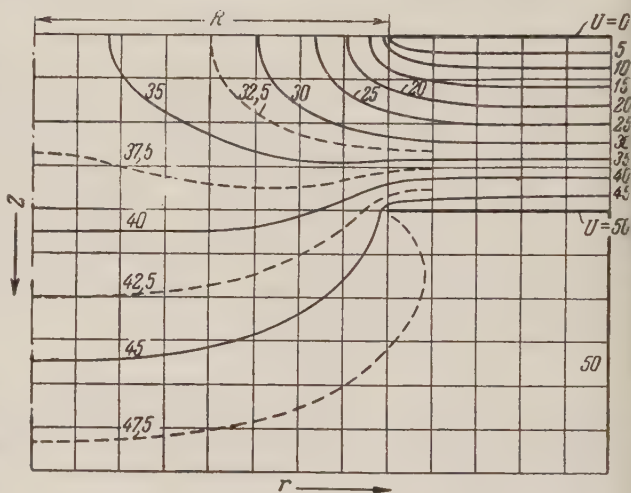


Рис. 2

Задача 2. Электростатическая линза. Линза состоит из трех бесконечно тонких электродов, каждый из которых имеет отверстие радиуса R . Расстояние между электродами равно $R/2$. Между средним и внешними электродами приложена разность потенциалов 50 в. На рис. 2 построено при помощи электро моделирования поле рассматриваемой линзы. В связи с симметрией задачи поле построено только для нижнего полу-

Таблица 1

	r/r_0									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_T, \text{ в}$	0,000	0,301	0,477	0,602	0,699	0,778	0,845	0,903	0,954	1,00
$u_3, \text{ в}$	0,000	0,320	0,484	0,598	0,695	0,773	0,837	0,896	0,944	1,00
$\delta, \text{ в}$	0	-0,019	-0,007	0,004	0,004	0,005	0,008	0,007	0,010	0

транства. Эквипотенциальные линии чертятся непосредственно на электропроводном картоне цветными карандашами. Размеры электрической модели в натуре 326×251 мм. При реализации граничных условий прямая $= 10,5$ (в пределах $0 \leq r \leq 12$) принималась в качестве эквипотенциали $= 49,9$ в.

В табл. 2 результаты электро моделирования u_z сопоставлены с теоретическими результатами, полученными аналитически методом сеток (⁽¹⁾, тр. 199).

Таблица 2

z		r = 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	u_T , в	35,4	35,3	34,8	33,9	32,5	30,5	27,3	24,7	0	0	0	0	0	0
	u_z , в	35,8	35,7	34,9	34,0	32,5	30,3	26,8	20,6	0	0	0	0	0	0
	δ , в	-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,5	1,1	—	—	—	—	—	—
1	u_T	35,7	35,6	35,1	34,4	33,1	31,3	28,5	23,9	18,5	14,3	13,0	12,6	12,5	12,5
	u_z	36,1	35,9	35,2	34,4	33,1	31,0	28,1	23,5	18,2	14,9	13,7	13,3	13,1	13,0
	δ	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5
2	u_T	36,7	36,6	36,2	35,6	34,8	33,6	32,0	29,9	27,9	26,4	25,6	25,2	25,0	25,0
	u_z	36,7	36,6	36,1	35,5	34,6	33,2	31,5	29,5	27,5	26,0	25,4	25,1	24,9	25,0
	δ	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0
3	u_T	38,0	38,0	37,8	37,4	37,0	36,6	36,1	36,3	37,0	37,5	37,7	37,7	37,5	37,5
	u_z	37,8	37,8	37,5	37,1	36,7	36,2	35,6	35,7	36,8	37,1	37,1	37,0	37,1	37,2
	δ	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,8	0,6	0,7	0,4	0,3
4	u_T	39,7	39,7	39,6	39,5	39,5	39,6	39,9	41,2	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
	u_z	39,3	39,3	39,2	39,1	39,0	39,1	39,6	40,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
	δ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	—	—	—	—	—	—
5	u_T	41,4	41,4	41,5	41,6	41,7	42,1	43,0	44,8	46,8	48,9	49,6	49,9	50,0	50,0
	u_z	40,9	40,9	41,0	41,1	41,2	41,6	42,4	44,0	46,3	48,0	48,7	49,2	49,5	50,0
	δ	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5	0,9	0,9	0,7	0,5	—
6	u_T	43,0	43,1	43,2	43,4	43,7	44,1	45,1	46,4	47,5	48,7	49,5	49,8	50,0	50,0
	u_z	42,6	42,6	42,8	42,9	43,2	43,6	44,4	45,6	46,9	48,0	48,8	49,2	49,6	50,0
	δ	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	0,4	—
7	u_T	44,4	44,5	44,7	44,9	45,3	45,6	46,5	47,4	48,0	48,8	49,5	49,8	50,0	50,0
	u_z	44,2	44,2	44,4	44,6	44,8	45,2	45,9	46,7	47,5	48,1	49,0	49,3	49,7	50,0
	δ	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,3	—
8	u_T	45,6	45,7	45,9	46,2	46,5	46,8	47,4	48,0	48,6	49,1	49,6	49,8	50,0	50,0
	u_z	45,7	45,8	45,9	46,0	46,2	46,6	47,0	47,5	48,1	48,6	49,0	49,4	49,7	50,0
	δ	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	—
9	u_T					47,4	47,7	48,2	48,6	49,0	49,4	49,6	49,9	50,0	50,0
	u_z					47,5	47,7	48,0	48,3	48,7	49,0	49,3	49,6	49,8	50,0
	δ					-0,1	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	—
10	u_T							48,6	48,9	49,3	49,5	49,7	49,8	50,0	50,0
	u_z							49,0	49,1	49,3	49,5	49,6	49,8	49,9	50,0
	δ							-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	—

Максимальная относительная погрешность в данном примере составляет 3% и достигается в точках ($r = 7$; $z = 0$) и ($r = 10$; $z = 1$). В большинстве остальных точек относительная погрешность не превышает 1%.

Повышенная погрешность в окрестности электродов линзы объясняется тем, что граничные условия были реализованы при помощи полосовых шин, обеспечивающих лишь односторонний контакт с моделью, так что в данном случае сказался пространственный эффект, вызванный значительной толщиной картона.

Результаты можно улучшить, задав граничные условия двухсторонним путем, подклеив вдоль электрода $u = 50$ в тонкую медную проволоку на обратной стороне модели и установив на остальных участках границы шины-жины (⁽⁶⁾).

Задача 3. Удар осесимметричной струи о безграничную плоскую стенку. На рис. 3 приведена фотография тки эквипотенциалей, построенная на осесимметричном электропровод-

ном картоне, а также измерительное устройство интегратора ЭГДА-6/51 на котором моделировались все задачи. Для суждения о масштабе здесь показана логарифмическая линейка.

Линия свободной поверхности (вдоль которой $v = \text{const}$) определяется при помощи последовательных приближений, вполне аналогично случаю плоской задачи ⁽⁵⁾. Линии тока в осесимметричных задачах можно строить обычным путем, обращая задачу для случая неоднородной среды ⁽⁶⁾.

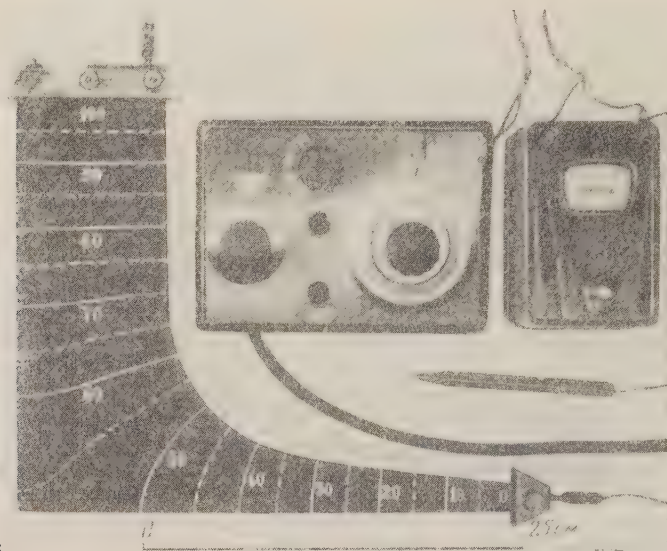


Рис. 3

Рассмотренные примеры показывают, что даже при грубой аппроксимации условий (2) получаются удовлетворительные результаты. Более точные результаты можно получить, если отливать из бумажной массы промышленным путем электропроводный картон треугольного сечения, проводимость которого будет точно удовлетворять условиям (2). Электропроводную осесимметрическую среду повышенного качества можно также получить, нанося на баритовую бумагу электропроводные краски в электростатическом поле. Напряженность поля должна быть подобрана так, чтобы проводимость полученной среды удовлетворяла условиям (2). Этим же путем можно получить среду с более общими заданными условиями проводимости.

Институт математики
Академии наук СССР

Поступило
11 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Глазер, Основы электронной оптики, М., 1957. ² Б. Б. Гутман, Электропроводящая бумага, Сборн. статей по отдельным вопросам целлюлозной и бумажной промышленности, М., 1944. ³ М. А. Лаврентьев, Усп. матем. наук, 12, в. 4 (76), 29 (1957). ⁴ П. Ф. Фильчаков, ДАН, 84, № 2, 237 (1952). ⁵ П. Ф. Фильчаков, Доповіді АН УРСР, № 5, 440 (1955). ⁶ П. Ф. Фильчаков, В. И. Парчишин, Интеграторы ЭГДА-6/51 и ЭГДА-6/53, Изд. Киевск. гос. унив., 1955.

В. С. АБРАМОВ и Н. А. ИЛЬИНА

РЕАКЦИИ АЛЬДЕГИДОВ И КЕТОНОВ С АМИДАМИ ФОСФОРИСТЫХ КИСЛОТ

(Представлено академиком Б. А. Арбузовым 18 X 1958)

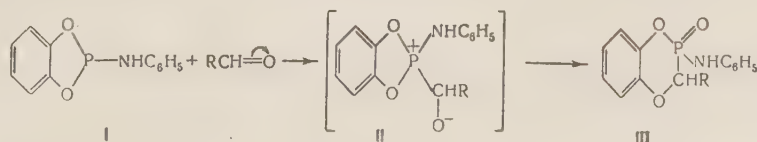
Реакция карбонильных соединений с различными соединениями фосфора распространена широко и имеет значительный интерес. Альдегиды и кетоны реагируют с треххлористым фосфором и дают продукты, которые при обработке водой или спиртом превращаются в α -оксиалкилфосфиновые кислоты или их эфиры, как это показал В. Фоссен ⁽¹⁾. Эту интересную реакцию изучали Х. Педж ⁽²⁾, Дж. Конант с сотрудниками ⁽³⁾, М. И. Кабачник ⁽⁴⁾ и др. В результате исследований показано, что альдегиды и кетоны с равным успехом вступают в реакции с моно- и дигалоидпроизводными фосфора.

Альдегиды и кетоны при нагревании реагируют с йодистым фосфонием и дают оксиалкилпроизводные. Фосфины в эту реакцию вступают только в сильном токе хлороводорода, как это было найдено Жиардом ⁽⁵⁾. Эта реакция изучалась Дж. Мезингером и С. Энгельсом ⁽⁶⁾, А. Гофманом ⁽⁷⁾.

Фосфорноватистая, фосфористая и алкилфосфинистые кислоты присоединяются к альдегидам и кетонам и дают оксизамещенные производные фосфора, как это было показано Мари ⁽⁸⁾. Новым этапом в развитии этого направления было изучение реакции присоединения диалкилфосфористых кислот и кислых эфиров алкилфосфинистых кислот к карбонильной группе альдегидов и кетонов, проводимое В. С. Абрамовым ⁽⁹⁾. Реакция присоединения протекает с необыкновенной легкостью, как в присутствии катализаторов, алколюлятов щелочных металлов или органических оснований, так и без них. Так же ведут себя диалкилфосфинистые кислоты с альдегидами и кетонами ⁽¹⁰⁾. Альдегиды и кетоны реагируют с диалкилтиофосфористыми кислотами и дают соответствующие эфиры α -оксиалкилтиофосфиновых кислот ⁽¹¹⁾. Надо полагать, что алкил- и диалкилтиофосфинистые кислоты будут реагировать так же.

Альдегиды и кетоны реагируют с полными эфирами фосфористой кислоты по типу галоидных алкилов и дают эфиры α -алкоксиалкилфосфиновых кислот ⁽¹²⁾. Интересно протекает реакция с неопределенными альдегидами, в которых двойная связь сопряжена с карбонильной группой ⁽¹³⁾.

Недавно были синтезированы анилиды фосфористых кислот и было показано, что они присоединяют одогалоидные соли меди, вступают в реакцию арбузовской перегруппировки и, следовательно, их таутомерное равновесие сильно сдвинуто в сторону трехвалентного фосфора ⁽¹⁴⁾. Надо полагать, что диалкиламидо-(анилидо)-фосфиты как соединения, имеющие структуру по трехвалентному фосфору, должны реагировать с карбонильными соединениями, прежде всего, по типу фосфитов. Реакцию по этому типу для пирокатехинанилидофосфита (I) с альдегидами и кетонами можно представить схемой:



По-видимому, реакция действия альдегидов и кетонов на диалкиламида (анилидо)-фосфиты проходит с образованием промежуточного продукта присоединения (II), который, вероятно, имеет квазифосфониевую природу и превращается в конечный продукт (III) аналогично реакции арбузоской перегруппировки. Не исключена возможность и иного течения реакции.

Проведенное экспериментальное исследование показало, что дифениланилидофосфит, пирокатехинанилидофосфит и другие весьма энергично вступают в реакции с альдегидами и кетонами. Обычно реакция наступает при смешивании компонентов и сопровождается значительным выделением тепла. Температура реакционной массы некоторых реакций поднимается выше 100°. При охлаждении продукты реакции застывают в стеклообразную массу, которая в некоторых случаях окрашивается в желтый цвет. Если реакции вести при охлаждении или компоненты смешивать порциями, то они проходят умеренно и продукты реакции остаются бесцветными. Таким путем нами проведены реакции действия дифениланилидофосфита и пирокатехинанилидофосфита с уксусным, пропионовым и бензойным альдегидами, ацетоном и циклогексаном и получены продукты, по суммарной формуле отвечающие продуктам присоединения. Свойства этих продуктов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Анилидозефирy α-алкоксиалкилфосфиновых кислот

Формула вещества	Перекристаллизован из	Т. пл. в °С	Содерж.	
			найд.	выч.
1	Диоксана	145—146	11,31; 11,71	11,27
2	Абс. спирта	149,5—150,5	10,37; 10,05	10,72
3	Абс. спирта	182—183	9,30; 9,39	9,20
4	Промыт ацетоном	173—174	10,77; 10,73	10,73
5	Спирта	156—157	9,14; 9,14	9,42
6	Абс. спирта	149—150	7,65; 7,66	7,48
7	Абс. спирта	157—158	7,60; 7,54	7,61

Продукты взаимодействия пирокатехинанилидофосфита с ацетоном (№ 4) и дифениланилидофосфита с циклогексаном (№ 7) были омылены разбавленной соляной кислотой при умеренном нагревании. Из продуктов омыления были выделены в первом случае пирокахетин, который был идентифицирован смешанной пробой температуры плавления, и анилин; во втором — фенол, который был превращен в трибромфенол, и анилин. Однако выделить ожидаемые α -окси-изо-пропилфосфиновую и 1-феноксиклорфосил-1-фосфиновую кислоты не удалось.

На основании анализа и результатов омыления мы считаем, что анидофосфиты с альдегидами и кетонами реагируют по типу арбузовской перегруппировки фосфитов, и приписываем продуктам реакции возможные формулы, указанные в таблице.

Таким образом найдена еще одна новая легкопротекающая реакция альдегидов и кетонов с органическими производными фосфора, а именно анидофосфитами.

Казанский химико-технологический институт
им. С. М. Кирова

Поступило
11 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Fosseck, *Monatsh.*, **5**, 121 (1884); **7**, 20 (1886). ² H. J. Page, *J. Chem. Soc.*, **101**, 423 (1912). ³ J. B. Conant, *J. Am. Chem. Soc.*, **39**, 2679 (1917); J. B. Conant, *J. Am. Chem. Soc.*, **43**, 1705 (1921). ⁴ М. И. Кабачник, Е. С. Шепелева, *Изв. АН СССР, ОХН*, **1950**, 37; М. И. Кабачник, Е. С. Шепелева, *Изв. АН СССР, ОХН*, **1951**, 185. ⁵ Girard, *Ann. Chim.*, (6), **2**, II (1884). ⁶ J. Messinger, C. Engels, *Ber.*, **21**, 326, 2939 (1888). ⁷ A. Hofman, *J. Am. Chem. Soc.*, **43**, 1684 (1921); **52**, 2995 (1930). ⁸ Marie, C. R., **133**, 219, 818 (1901); **135**, 106, 118 (1902); **8**, 3, 335 (1904). ⁹ В. С. Абрамов, *ДАН*, **73**, 487 (1950); *ЖОХ*, **22**, 47 (1952); **27**, 169 (1957). ¹⁰ R. C. Miller, C. D. Miller, W. Rogers jr, L. A. Hamilton, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 424 (1957). ¹¹ А. Пудовик, Г. Заметаев, *Изв. АН СССР, ОХН*, **1952**, 932. ¹² В. С. Абрамов, *ДАН*, **95**, 991 (1954). ¹³ Гильм Кай, В. А. Кухтин, *ДАН*, **112**, 868 (1957). ¹⁴ М. И. Кабачник, В. А. Гильмов, *ДАН*, **96**, 991 (1954).

М. Е. ДЯТКИНА и М. А. ПОРАЙ-КОШИЦ
О НОВОМ ВОЗМОЖНОМ ТИПЕ ИЗОМЕРИИ В ОКТАЭДРИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
В ЧАСТНОСТИ Cu

(Представлено академиком И. И. Черняевым 27 XII 1958)

В октаэдрических комплексных соединениях, содержащих лиганды по крайней мере, двух видов, возможна, как известно, цис-транс-изомерия. Если отвлечься от оптической изомерии, то при «правильном» октаэдрическом строении такой тип изомерии является единственным *. Однако мы хотим указать, что в некоторых случаях могут возникать еще дополнительные типы изомерии октаэдрических комплексов.

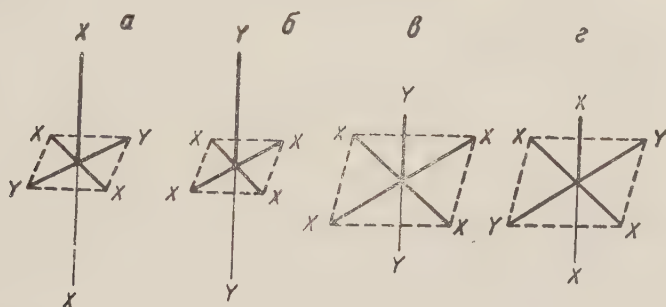
Согласно современным представлениям теории поля лигандов при определенных конфигурациях несвязывающих электронов центрального атома должны наблюдаться и наблюдаются в действительности искажения правильного октаэдрического строения вследствие эффекта Яна — Теллера. Это имеет место, когда состояние несвязывающих электронов центрального атома на d -уровнях, расщепленных в поле лигандов, оказывается орбитально вырожденным, а именно, при конфигурации d^0 , а также d^4 в случае комплексов со свободным спином. В указанных конфигурациях один и три электрона находятся на уровнях верхнего дублета e_g , что соответствует двум вырожденным состояниям. Согласно теореме Яна — Теллера при этом должно происходить искажение правильной геометрической конфигурации вдоль какой-либо одной из колебательных координат, поскольку такое искажение приводит к расщеплению дублета и создает возможности более выгодного расположения несвязывающих электронов (при конфигурации d^4 — один электрон на нижнем уровне, а верхний уровень — пустой, а при конфигурации d^9 — два электрона на нижнем уровне и один — на верхнем). Искажение может заключаться, в частности, в растяжении или сплюсывании октаэдра вдоль одной из осей 4-го порядка.

В последнее время ряд авторов привлекли эти представления для объяснения искажений правильного октаэдрического расположения лигандов вокруг центрального атома в случае соединений Cu (II), Cr (II) и Mn (III) (1, 2). Однако до сих пор не было обращено внимания на то, что при наличии лигандов двух типов такие искажения могут быть причиной дополнительных возможностей пространственной изомерии.

При тетрагональном искажении принципиально возможно существование двух форм, соответствующих вытянутому октаэдру (с двумя длинными и четырьмя короткими расстояниями) и сплюсненному октаэдру (с двумя короткими и четырьмя длинными расстояниями). Такая изомерия может иметь место, в принципе, и при всех шести одинаковых лигандах. До сих пор, однако, при одинаковых лигандах были обнаружены только искажения, приводящие к вытянутому октаэдру. В качестве теоретического объяс-

* Подразумевается октаэдр, правильный в отношении равноценности связывающих орбит центрального атома, а не в отношении пространственного строения комплекса в целом, который при наличии лигандов разных типов, конечно, не может обладать симметрией O_h .

ения этого факта обычно приводятся данные Эпика и Прайса ⁽³⁾, показавших, что при рассмотрении электростатического взаимодействия центрального атома с лигандами вытянутая форма более стабильна, чем сплюснутая. Не исключено, однако, что результат может оказаться иным в случае, когда поле создается ковалентными связями, характеризующимися определенной направленностью. Если даже вытянутая форма и является более стабильной, нельзя считать исключенной возможность существования менее стабильного сплюснутого изомера (поскольку изомеры не обязательно должны иметь одинаковые энергии), особенно при наличии других факторов, стабилизирующих сплюснутую форму. Еще больше возможности изомерии искаженных октаэдрах, когда имеются лиганды двух или более типов. В этом случае, в отличие от правильного октаэдрического расположения, изомерия может проявиться уже у комплексов состава AX_5Y . Здесь принципиально возможны четыре изомера с нахождением лиганда Y на короткой или длинной осях, соответственно в вытянутом и сплюснутом октаэдре: $a, b, в$ и $г$.



Аналогичные четыре изомера $a, б, в$ и $г$ возможны при составе AX_4Y_2 (при транс-расположении лигандов Y).

Еще больше число возможных изомеров при составе $AX_2Y_2Z_2$. В этом случае и в вытянутом, и в сплюснутом октаэдре возможны по три изомера, в зависимости от того, какая из трех пар лигандов находится на координате, отличающейся от остальных (длинной в вытянутом октаэдре или короткой в сплюснутом).

Нам представляется, что именно изомерия такого типа имеет место в случаях, обнаруженных недавно Ганицом ⁽⁴⁾ для $Cu(NH_3)_2Br_2$ и $Cu(NH_3)_2Cl_2$ координационным полиэдром $Cu(NH_3)_2X_4$. Ганиц нашел, что каждое из исследованных им соединений существует в двух формах; в одной из них имеется октаэдр с четырьмя короткими и двумя длинными расстояниями и-лиганд; причем на длинной координате находятся два атома галогена, остальные два атома галогена и две молекулы аммиака расположены на коротких координатах, тогда как в другой форме имеется сплюснутый октаэдр, в котором две молекулы аммиака занимают короткую координату, все четыре атома галогена находятся на длинных координатах. Еще ранее Гильберштейн нашел, что в соединении состава $(NH_4)_2CuBr_4 \cdot 2H_2O$ имеется вытянутый октаэдр $Cu(H_2O)_2Br_4$ (с атомами Br на длинной и короткой координатах) ⁽⁵⁾, а в соединении состава $(NH_4)_2CuBr_4 \cdot 2NH_3$ имеется сплюснутый октаэдр $Cu(NH_3)_2Br_4$ с молекулами NH_3 на короткой координате ⁽⁵⁾. Как видно, эти случаи соответствуют изомерам a и $в$. Появление именно этих изомеров может быть обусловлено различием в тенденции отдельных лигандов занимать положения на короткой и длинной координатах. Оргел и Дьюниц ⁽¹⁾ высказали предположение, что длинные связи должны образовываться с теми из лигандов, которые создают более слабое поле. По возрастающей силе поля лиганды располагаются в следующий ряд ⁽⁶⁾



т.е., что, по сравнению с бромом, вода и особенно аммиак должны стремиться занимать положения на короткой координате. Это согласуется со строением

изомера *a* и объясняет, почему не образуется изомер *b*, в котором в вытянутом октаэдре молекулы аммиака находились бы на длинной координате вопреки большей силе создаваемого ими поля. С другой стороны, несмотря на меньшую выгодность конфигурации сплюсненного октаэдра, она может возникнуть в виде изомера *в* (но не *г*), поскольку при этом молекулы аммиака, создающие более сильное поле, находятся на короткой координате, а не четыре атома брома, с их менее сильным полем, — на двух длинных координатах. Вероятность образования сплюсненного изомера *в* должна быть тем больше, чем больше отличие в силе поля, создаваемого разными лигандами. В этом отношении случай Br и NH_3 представляется весьма благоприятным.

На основании вышеизложенного, можно высказать предположение, что найденная Ганицом изомерия соединений Cu (II) не сводится к различию между квадратной dsp^2 (или sp^2d)-гибридизацией и линейной sp -гибридизацией (т. е., по существу, к различию в расстановке квадратных скобков). Наличие двух лигандов, дополняющих координационный квадрат до октаэдра в соединениях Cu (II) (в отличие от соединения Pd (II) и Pt (II)), является слишком специфическим для того, чтобы быть случайным эффектом упаковки комплексных катионов и внешнесферных анионов. С другой стороны, расстояния Cu -лиганд вдоль длинной координаты в вытянутых октаэдрах (например в CuBr_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{CuBr}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\alpha\text{-Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Br}_2$) примерно такие же или даже несколько больше, чем вдоль длинных координат в сплюсненном октаэдре в случае $\beta\text{-Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Br}_2$. Поэтому, нет особых оснований трактовать последнее соединение, как упаковку ионов $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ и Br^- в отличие от «координационной» трактовки комплексов, имеющих форму вытянутых октаэдров. Мы полагаем, что во всех случаях все шесть лигандов находятся во «внутренней сфере» вокруг атома меди, а наличие изомерии обусловлено искажением координационного октаэдра вследствие эффекта Яна — Теллера.

Институт общей и неорганической химии
им. Курнакова
Академии наук СССР

Поступило
27 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. E. Orgel, J. D. Dunitz, *Nature*, **179**, 462 (1957). ² M. A. Herpworth, K. H. Jack, *Acta Cryst.*, **10**, 345 (1957). ³ U. Öpik, M. H. L. Pryce, *Proc. Roy. Soc.*, **A228**, 425 (1957). ⁴ F. Hanic, *Acta Cryst.*, **11**, 610 (1958); Доклад на 7-м Всесоюзн. совещ. по применению рентгеновских лучей к исследованию материалов, 1956.
- ⁵ M. A. Silberstein, *C. R.*, **201**, 970 (1935); **202**, 1196 (1936); **205**, 909 (1937).
- ⁶ L. E. Orgel, *J. Chem. Phys.*, **23**, 100 (1955).

Ф. Н. МАЗИТОВА и Я. М. ПАУШКИН

ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ НИТРОСОЕДИНЕНИЙ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА НА СКОРОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

(Представлено академиком А. В. Топчиевым 3 XI 1958)

Реакция каталитического восстановления нитросоединений ароматического ряда молекулярным водородом была впервые осуществлена М. Зайцевым в 1872 году при получении анилина из нитробензола в присутствии палладиевой черни при 150° в токе водорода ⁽¹⁾. Дальнейшие работы по восстановлению ароматических нитросоединений в присутствии различных катализаторов проводились в основном при высоких температурах давлений.

Изучению процесса восстановления нитросоединений при комнатной температуре и атмосферном давлении посвящено лишь несколько работ. Так, Пааль и Амберггер восстанавливали нитробензол при комнатной температуре в присутствии коллоидного палладиевого катализатора ⁽²⁾. В работах А. А. Стрельцовой и Н. Д. Зелинского ^(3, 4) было показано, что присутствие таких заместителей в ядре, как OH, Cl, CH_3 , COOH, практически не влияет на скорость гидрирования ароматических нитросоединений при комнатной температуре и атмосферном давлении. Опубликованных работ по восстановлению нитроалкилфенолов в этих условиях не имеется.

Для изучения каталитического восстановления нами были синтезированы ряд нитросоединений с алкильными группами в ядре, свойства которых приводятся в табл. 1. Кроме указанных соединений, были взяты также для восстановления очищенные *o*-нитрофенол с т. пл. 47° и нитробензол с кип. 209° . Реакция проводилась при атмосферном давлении в утке Либиха, термостатированной при 20° . Предварительно очищенный водород пропускать в спиртовой раствор восстанавливаемого нитросоединения, содержащий определенное количество платинового катализатора. Катализатор готовился осаждением платины на активированный уголь из раствора хлористоводородной платины в формалине. Содержание платины в катализаторе составляло 20%. Опыты продолжались до прекращения поглощения водорода. Во всех опытах расход водорода на восстановление совпадал теоретическим количеством. Продукты реакции — соответствующие ароматические амины выделялись из профильтрованного восстановленного спиртового раствора после отгонки растворителя под вакуумом. Они не содержали побочных продуктов, как видно из свойств полученных аминоалкилфенолов, приведенных в табл. 2.

При изучении скоростей восстановления исходных нитросоединений реакции проводились в сравнимых условиях: бралось примерно 0,0025 моля нитропродукта (от 0,3 г до 0,65 г в зависимости от молекулярного веса), 25 мл этилового спирта (что составляло около 0,6 мол. %), 0,5 г катализатора, реакционный сосуд встряхивался на качалке, число качаний в минуту составляло 200.

На рис. 1 иллюстрируются скорости поглощения водорода при восстановлении взятых нитропродуктов. Необходимо отметить, что до восстановления основной массы вещества (около 85—90%) поглощение водорода идет

Физико-химические свойства синтезированных нитроалкилфенолов

Продукт	Т. кип., °C	Т. пл., °C	М. в.		n_D^{20}	Элементарный состав, %					
			найд.	выч.		С		Н		N	
						найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.
I. 2-нитро-4-трет.-бутилфенол	97/1	—	195	195	1,5528	61,70 61,61	61,52	6,45 6,47	6,71	7,26 7,34	7,1
II. 2-нитро-4-трет.-амилфенол	118/1	—	205	209	1,5512	63,42 63,30	63,14	7,24 7,27	7,22	6,74 6,58	6,1
III. Нитродиамилфенол	169—189/6	—	281	279	1,5320	68,82 68,89	68,78	9,07 8,99	9,02	5,17 5,15	5,1
IV. Диметилфенил- <i>м</i> -нитро- <i>п</i> -оксифенилметан	—	95,5	—	—	—	70,38 70,33	70,02	5,97 5,93	5,87	5,19 5,10	5,4
V. 2,6-динитро-4-трет.-бутилфенол	—	93	—	—	—	49,86 49,84	49,99	5,07 5,10	5,03	11,39 11,37	11,0
VI. Нитро-трет.-бутилбензол	122—124/10	—	—	—	1,5290	67,65 67,77	67,01	7,88 7,84	7,31	7,77 7,84	7,1

Формулы:

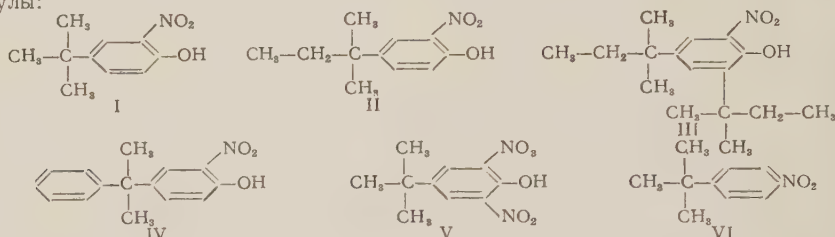
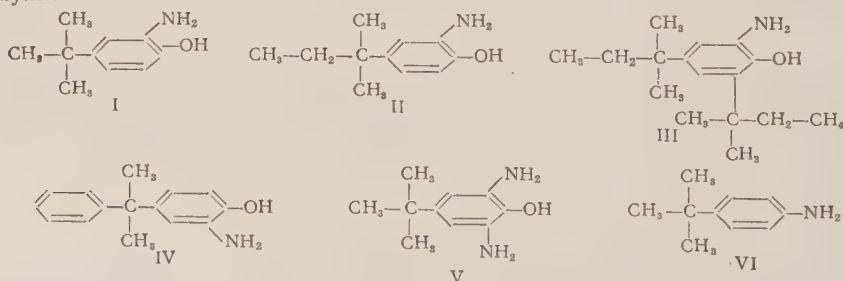


Таблица 12

Физико-химические свойства аминокалкилфенолов, полученных восстановлением соответствующих нитроалкилфенолов

Продукт	Т. кип. °C	Т. пл. °C	Элементарный состав, %					
			С		Н		N	
			найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.
I. 2-амино-4-трет.-бутилфенол	—	162,5	73,20 73,14	72,69	9,31 9,33	9,15	8,47 8,55	8,47
II. 2-амино-4-трет.-амилфенол	—	119	74,04 74,10	73,70	9,66 9,64	9,56	7,80 7,74	7,81
III. Амин-диаамилфенол	—	—	77,17 77,16	77,05	10,91 10,86	10,91	5,47 5,52	5,63
IV. Диметилфенил- <i>м</i> -амин- <i>п</i> -оксифенилметан	—	132	79,06 79,27	79,25	7,43 7,24	7,54	—	—
V. 2,6-диамино-4-трет.-бутилфенол	—	—	—	—	—	—	14,12*	15,54
VI. Амино-трет.-бутилбензол	114—115/10	—	80,49 80,62	80,48	10,14 10,28	10,13	9,31 9,48	9,38

Формулы:



* Количество основного азота определялось потенциометрическим титрованием.

Таблица 3

Скорости поглощения водорода при восстановлении нитросоединений в спиртном растворе в присутствии платинового катализатора (температура 20°, скорость перемешивания 200 об./мин)

Нитросоединение	Скорость поглощ. водорода, мл/мин*	Отн. скорость восп.	Нитросоединение	Скорость поглощ. водорода, мл/мин*	Отн. скорость восп.
<chem>c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-]</chem>	3,32	1,08	<chem>CC(C)(C)C(c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-])O</chem>	1,80	0,42
<chem>Oc1ccccc1[N+](=O)[O-]</chem>	3,08	1	<chem>CC(C)(C)C(c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-])O</chem>	0,88	0,28
<chem>CC(C)(C)C(c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-])O</chem>	1,93	0,58	<chem>CC(C)(C)C(C)C(c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-])O</chem>	0,77	0,25
<chem>CC(C)(C)C(c1ccc(cc1)[N+](=O)[O-])O</chem>	1,75	0,57			

*Скорости поглощения рассчитывались при расходе водорода 85—90% от теоретического, что соответствует точкам перегиба кривых рис. 1.

постоянной скоростью для каждого соединения. В табл. 3 приводятся значения средних скоростей поглощения водорода в каждом отдельном случае, характеризующие косвенно скорости восстановления нитросоединений. Из приведенных данных видно, что скорости восстановления нитробензола и нитрофенола оказались практически одинаковыми (рис. 1, кривые 1 и 2), что

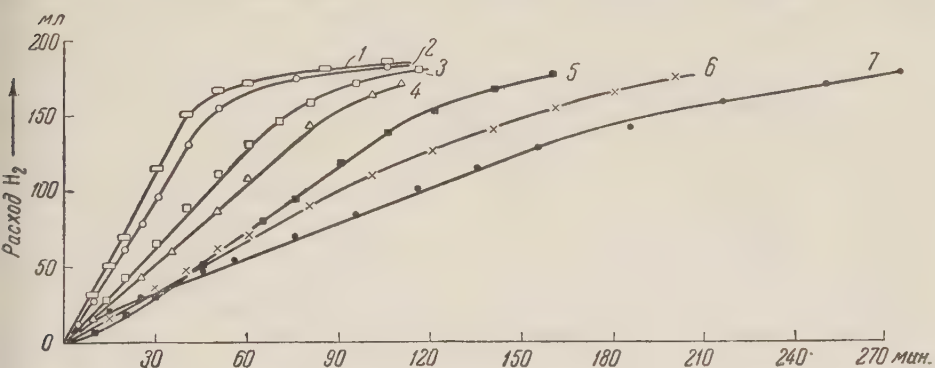


рис. 1. Влияние строения нитросоединения ароматического ряда на скорость каталитического восстановления при 20° и скорости перемешивания 200 об./мин. 1 — нитробензол, 2 — о-нитрофенол, 3 — 4-нитро-трет.-бутилбензол, 4 — 2-нитро-4-трет.-бутилфенол, 5 — 2-нитро-4-трет.-амилфенол, 6 — диметилфенил-м-нитро-п-окси-фенилметан (нитропродукт сложного фенола), 7 — нитродиамилфенол

полное соответствует ранее опубликованным результатам А. А. Стрельцовой и Н. Д. Зелинского⁽⁴⁾. Однако при переходе от нитробензола к нитробутилбензолу скорость восстановления снижается примерно на 42%. В случае нитрофенола и его алкилпроизводных наблюдается аналогичное влияние алкильной группы на скорость восстановления, причем введение второй алкильной группы в ядро еще в большей степени замедляет восстановление. Так, если скорость восстановления нитрофенола принять за единицу, то скорости восстановления нитробутилфенола, нитроамилфенола и нитро-

диамидфенола составят, соответственно, 0,57; 0,42 и 0,25. Если один из атомов водорода алкильной группы, входящей в ядро нитроалкилфенола, заменить на фенильную группу, наблюдается дальнейшее понижение скорости восстановления. Так, скорость восстановления диметилфенил-*m*-нитро-*n*-оксифенилметана примерно в 3,5 раза меньше скорости восстановления нитрофенола.

Таким образом, в ряду нитроалкилфенолов скорость восстановления дает с увеличением размеров и усложнением структуры алкилзамещающих группы, что можно объяснить возникающими при этом пространственными затруднениями.

Институт нефтехимического синтеза
Академии наук СССР

Поступило
3 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. М. Зайцев, J. prakt. Chem., (2), 6, 128 (1872). ² Raai, Amberger, В. 38, 1406 (1905). ³ А. А. Стрельцова, Н. Д. Зелинский, Изв. АН СССР ОХН, 1941, стр. 401. ⁴ А. А. Стрельцова, Н. Д. Зелинский, Изв. АН СССР ОХН, 1943, стр. 56.

Академик А. Н. НЕСМЕЯНОВ, Л. А. КАЗИЦЫНА, Б. В. ЛОКШИН
и В. Д. ВИЛЬЧЕВСКАЯ

ИНФРАКРАСНЫЕ СПЕКТРЫ НЕКОТОРЫХ АЛКИЛ- И АРИЛФЕРРОЦЕНОВ

Ранее было показано, что наличие частот в области 1000 и 1100 см^{-1} в инфракрасном спектре производных ферроцена может служить доказательством присутствия свободного от заместителей циклопентадиенильного льца (^{1,2}). Следующая подлежащая решению задача — определение взаимного расположения замещающих групп в одном циклопентадиенильном льце в гомоаннулярных дизамещенных производных ферроцена. В литературе этому вопросу посвящено несколько работ (^{3, 4}), в которых обсуждаются инфракрасные спектры ацетилэтил- и этилдиметилферроценов; были найдены некоторые закономерности, позволяющие для указанных соединений различать 1,2- и 1,3-изомеры. Однако попытки распространить выведенные правила на другие дизамещенные гомоаннулярные ферроцены были неудачны; вероятно, найденные в обоих случаях особенности инфракрасных спектров присущи только данным соединениям.

Мы исследовали инфракрасные спектры в области призмы NaCl ряда замещенных ферроценов. Полученные данные приведены в табл. 1 (спектры снимались на спектрометре ИКС-11 с записью на электронном потенциостере ЭПП-09 в области призмы NaCl. Твердые вещества снимались в виде слес в вазелиновом масле, жидкие при толщине слоя 0,05 мм).

Мы уже сообщали (¹), что спектры двух гомоаннулярных диэтилферроценов (n_D^{20} 1,5820 и 1,5847) различаются только частотой 1277 см^{-1} , присутствующей лишь в одном из них. Так как оба изомера имеют поглощение в области 1000 и 1100 см^{-1} , что является доказательством наличия свободного циклопентадиенильного кольца, то для них оставался выбор строения 2- и 1,3-диэтилферроценов.

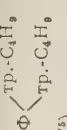
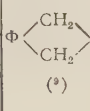
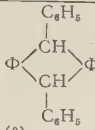






Наличие поглощения в области 1280 см^{-1} было прослежено для значительного числа ферроценовых соединений (более 50). Из обсуждения нужно исключить все карбонилсодержащие соединения, поскольку интенсивное поглощение в этой области обязано деформационным колебаниям $\text{C}=\text{O}$ -групп и не может иметь отношения к различию инфракрасных спектров 1,2- и 1,3-изомеров гомоаннулярных дизамещенных ферроценов.

Поглощение в области 1280 см^{-1} наблюдается для всех монозамещенных алкилферроценов (кроме метилферроцена), фенилферроцена, для всех дизамещенных в разные кольца алкил- и арилферроценов и, наконец, для гомоаннулярных диизопропил- и ди-трет.-бутилферроценов. Для последних, исходя из пространственных соображений более вероятно 1,3-строение. Напротив, поглощение в области 1280 см^{-1} отсутствует в заведомо 1,2-замещенных гомоаннулярных ферроценах (сюда относятся вещества 11, 12, 13), в которых 1,2-положение заместителей следует из их бициклической структуры. Поглощение в этой области отсутствует и для гомоаннулярного полиметилферроцена (смесь тетра- и пентаметилферроценов). Синтез и доказательство структуры соединений 11 и 12, полученных конденсацией альдегидов с ферроценом, были даны ранее (⁹). Синтез вещества 13 приводим здесь.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Phi-\text{CH}_3$ (⁶)	$\Phi-\text{C}_2\text{H}_5$ (⁶)	$\Phi-i-\text{C}_3\text{H}_7$ (⁶)	$\Phi-\text{тр.}-\text{C}_4\text{H}_9$ (¹⁰)	$\text{C}_6\text{H}_5-\Phi-\text{C}_2\text{H}_5$ (⁶)	$\Phi \begin{smallmatrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{smallmatrix}$ (⁷)	$\Phi \begin{smallmatrix} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{smallmatrix}$ (⁶)	$\Phi \begin{smallmatrix} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{smallmatrix}$ (⁶)	$\Phi \begin{smallmatrix} i-\text{C}_3\text{H}_7 \\ i-\text{C}_3\text{H}_7 \end{smallmatrix}$ (⁶)
810 } 820 } ин.	820 ин.	Не исследовано		814 ин. 837 ин. 853 ин.	776—820 ин.	813 ин.	813 ин.	Не исс- дова
900								
924 ин.	917 ин.	922 ин.	908 ин.	908 ин. 980 ср.	926 ин. 950 ин.	906 ср. 920 ср. 998 ин.	906 ср. 920 ср. 998 ин.	922 ср.
1000								
1000 ин. 1024 ср. 1037 ин.	1006 ин. 1028 ин. 1047 ин.	1003 ин. 1022 ин. 1037 сл. 1067 ср.	1000 ин. 1016 ср. 1037 ин.	1025 сл. 1051 сл.	1002 ин. 1040 ин.	1022 ин. 1056 сл.	1022 ин. 1056 сл.	1002 ин. 1028 ср. 1070 ср.
1100								
1102 ин.	1110 ин.	1107 ин. 1147 ин. 1168 } 1186 } ср.	1106 ин. 1145 ин. 1182 ср. 1199 ср.	—	1106 ин.	1107 ин. 1148 ср. 1189 сл.	1107 ин. 1148 ср. 1189 сл.	1107 ин. 1147 ин.
1200								
1226 ср. —	1210 ср. 1231 ин. 1282 ин.	1203 сл. 1236 ин. 1277 ср.	1225 сл. 1270 ин.	1210 сл. 1231 ин. 1263 ин. 1284 ин.	1210 ин. 1236 ин. 1280 ин.	1207 ср. 1228 ин. 1257 ср. —	1204 ср. 1228 ин. 1257 сл. 1277 ин.	1205 ср. 1236 ин. 1257 ср. 1272 ин.
1300								
1341 ср. 1378 ин.	1314 ин. 1376 ср.	1308 } 1312 } ин. 1335 сл. 1358 ин. 1379 ин.	1312 ср. 1337 сл. 1394 ин.	1316 ин. 1376 ин.	1332 сл. 1384 ин.	1312 ин. 1338 сл. 1361 сл. 1373 сл. 1392 сл.	1312 ин. 1337 ср. 1359 ср. 1371 ин. 1394 сл.	1300— 1312 ин. 1337 ср. 1363 ср. 1377 ин.
1400								
1463 ин.	1418 ср. 1452 ин.	1450 ин.	1457 } 1481 } ин.	1400 сл. 1462 ин.	1460 ин.	1454 ин. 1470 ср.	1453 ин. 1470 ср.	1453 ин.
1500								
1600								
1655 ин.	1656 ин.				1650 ин.	1646 ин.	1646 ин.	1660 ин.

Примечания. 1. Обозначения: ин. — интенсивный, ср. — средний, сл. — слабые соединения поглощение в области 1380—1450 см⁻¹ может быть связано вазелиновым

Таблица 1

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								
Не исследовано	825 ин. 840 ин. 856 сл. 864 сл.	805 ин. 828 ср.	804 ин. 817 ин. 854 сл. 875 сл.	880 ср.	812 } 816 } ин. 834 } 850 сл. 883 ср.	812—828 ин. 888 ин.	808 ср. 850 сл. 882 сл. 892 сл.	812 ин. 846 сл. 883 сл. 892 сл.
909 сл.	921 ср. 996 ср.	906 сл. 921 ср. 945 сл. 998 ин.	941 ср. 952 сл. 970 сл. 981 сл.	924 сл.	904 ср. 998 ср.	907 ин. 970 сл.	904 сл.	
1000 ин. 1020 ср. 1037 ин.	1005 ин. 1018 ср. 1035 ин. 1051 сл. 1064 сл.	1038 ин. 1042 ин. 1074 ин.	1002 ин. 1026 ин. 1054 ср.	1000 ин. 1028 ин.	1027 ср. 1043 ср. 1059 ср. 1074 ср. 1085 ср.	1002 ин. 1030 ин. 1069 ср.	— 1036 1078 сл. 1092 сл.	1008 сл. 1020 сл. 1038 ср. 1086 сл.
1108 ин. 1150 ин. 1185 ср.	1104 ин.	1105 ин. 1154 сл.	1105 ин. 1137 сл. 1173 сл.	1106 ин.	1101 ин. 1185 сл.	1105 ин. 1156 ин. 1184 ин.	—	— 1116— 1124 сл.
1200 ср. 1255 ср. 1272 ин. 1294 сл.	1223 сл. 1258 сл. —	— 1298 сл.	1241 ср. —	1230 ин. — 1296 ср.	1280 ср.	1210 ср. 1228 ин. 1283 ин.	1218 сл. 1280 сл.	1282 ср.
1318 сл. 1343 сл. 1361 ин. 1378 сл. 1392 ин.	1338 ср. 1372 ин. 1395 ин.	1336 ср. 1389 ин. 1394 сл.	1314 ср. 1350 ср. 1378 ин.	1312 сл. 1334 ср. 1370 ин.	1301 сл. 1320 сл. 1342 сл.	1314 ин. 1372 ин.	1336 сл. 1344 сл. 1386 ср.	1310 сл. 1320 сл. 1386 ин.
1463 ин.	1460 ин.	1409 ср. 1450 ин.	1469 ин.	1406 ср. 1450 ин.	1403 сл. 1413 сл. 1446 ин.	1416 сл. 1446 ин.	1458 ин.	1458 ин.
					1504 ин.	1510 ин. 1600 ин.		
1655 ин.	1637 ин.					1650 ин.		

фигурные сксбки обозначают, что полосы частично сливаются. 2. В случае твердых маслу. 3. Вещество 16 получено Т. В. Никитиной, вещество 18 — Л. В. Ершовой.

Синтез тетрагидроинденил-циклопентадиенил-железа: 1 г кетотетрагидроинденил-циклопентадиенил-железа (¹²) был восстановлен десятикратным избытком амальгамированного цинка и соляной кислоты в ледяной уксусной кислоте (смесь после суточного стояния при комнатной температуре нагревалась в течение часа). В результате получено 0,9 г желтого масла, которое при стоянии в эксикаторе закристаллизовалось. После перекристаллизации из метилового спирта т. пл. 36—36,5°.

Найдено %: С 70,17; 70,04; Н 6,84; 6,79; Fe 23,21; 23,35
 $C_{14}H_{16}Fe$. Вычислено %: С 70,00; Н 6,67 Fe 23,34

В синтезированном соединении также отсутствует поглощение в области 1280 cm^{-1} .

Рассмотренный материал делает вероятным предположение, что поглощение в области 1280 cm^{-1} связано с наличием двух атомов углерода ферроцена, свободных от замещающих групп и соседних с углеродом ферроценом, несущим замещающий углеводородный радикал. Появление этой полосы в спектрах гомоаннулярных дизамещенных ферроценов указывает на 1,2-расположение заместителей.

Институт элементоорганических соединений
 Академии наук СССР

Поступило
 30 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Несмеянов, Л. А. Казицына, Б. В. Локшин, И. И. Крицкая, ДАН, **117**, 433 (1957). ² P. L. Pauson, Quart. Rev. Chem. Soc., **9**, 391 (1955).
- ³ K. L. Renchert, K. Z. Moltz, S. Moon, J. Am. Chem. Soc., **79**, 2749 (1957).
- ⁴ M. Rosenblum, Chem. and Ind., **30**, 953 (1958). ⁵ А. Н. Несмеянов, Н. С. Кочеткова, ДАН, **109**, 545 (1956). ⁶ А. Н. Несмеянов, Н. С. Кочеткова, ДАН, **114**, 800 (1957). ⁷ А. Н. Несмеянов, Э. Г. Перевалов, Л. С. Шиловцева, Ю. А. Устынюк, ДАН, **124**, № 2 (1959). ⁸ А. Н. Несмеянов, Н. А. Волькенау, ДАН, **107**, 262 (1956). ⁹ А. Н. Несмеянов, И. И. Крицкая, Изв. АН СССР, ОХН, **1956**, 253. ¹⁰ А. Н. Несмеянов, Н. С. Кочеткова, ДАН, **117**, 93 (1957). ¹¹ G. D. Broadhead, P. L. Pauson, J. Chem. Soc., **1955**, 367. ¹² А. Н. Несмеянов, Н. А. Волькенау, В. Д. Вильчевская, ДАН, **118**, 512 (1958).

А. А. ПЕТРОВ и В. А. КОРМЕР

О ПРИСОЕДИНЕНИИ ЛИТИЙ-ЭТИЛА И ЛИТИЙ-БУТИЛА К ВИНИЛАЛКИЛАЦЕТИЛЕНАМ

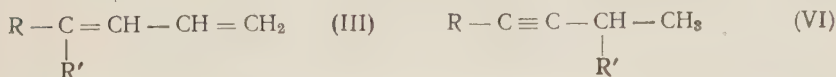
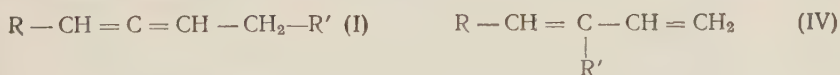
(Представлено академиком Б. А. Арбузовым 11 XII 1958)

В литературе имеются немногочисленные указания относительно присоединения литий-органических соединений по месту углерод-углеродных кратных связей (¹⁻³). Мономерные продукты присоединения образуют только рилолефины, причем радикал идет в этом случае к конечному, менее защищенному атому углерода. При действии литий-органических соединений на олефины и диолефины имеет место теломеризация, однако из реакционной смеси после гидролиза или обработки CO₂ удается выделить вещества, отвечающие по своему составу простым аддуктам. В случае диолефинов присоединение литий-алкилов происходит по тому же правилу, но первоначальные аддукты, по-видимому, обладают таутомерией, в результате чего дальнейшая теломеризация дает вещества с нормальным и изо-строением. Тонирование температуры способствует образованию последних.

Присоединение литий-органических соединений к винилацетиленовым углеводородам не изучалось.

Поставленные нами опыты показали, что винилалкилацетилены легко присоединяют литий-этил и литий-бутил в отношении 1 : 1 с образованием после обработки реакционной смеси водой углеводородов состава C_nH_{2n-2} и осмоленного остатка. Константы углеводородов, полученных из винилметил- и винилэтилацетиленов, даны в таблице.

В результате реакции можно было ожидать образования углеводородов следующих 6 типов, имеющих ацетиленовую, 1,3-диеновую или алленовую группировки.



Как и в других случаях (⁴), характер системы кратных связей в углеводородах был определен по их инфракрасным спектрам.

В инфракрасных спектрах всех углеводородов имелась только частота алленовой группировки (1960 см⁻¹) и отсутствовали частоты ацетиленовой и 1,3-диеновой систем (рис. 1, кривые 1 и 2). Таким образом формулы (III) — (VI) исключались.

Выбор между формулами (I) и (II) был сделан на основании изучения продуктов гидрирования этих алленовых углеводородов.

В результате присоединения литий-этила к винилметилацетилену с последующим гидролизом и гидрированием могли получиться два углеводорода: *n*-гептан или 3-метилгексан. Аналогичным образом из продукта при-

Вещество	Т. кип., °С	P, мм	d_4^{20}	n_D^{20}	Найдено		Вычислено	
					С	Н	С	Н
$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{C} = \text{CH} - \text{C}_3\text{H}_7$	52—53	150	0,7274	1,4360	87,58 87,74	12,38 12,38	87,42	12,5
$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{C} = \text{CH} - \text{C}_5\text{H}_{11}$	64—65	40	0,7555	1,4454	86,90 87,39	12,99 12,89	87,02	12,8
$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{CH} = \text{C} = \text{CH} - \text{C}_3\text{H}_7$	77,5—78,5	150	0,7443	1,4432	87,44 87,31	12,72 12,75	87,19	12,9
$\text{C}_2\text{H}_5 - \text{CH} = \text{C} = \text{CH} - \text{C}_5\text{H}_{11}$	82,5—83,5	40	0,7655	1,4496	87,02 87,32	13,08 13,14	86,88	13,1

соединения литий-этила к винилэтилацетилену могли получиться *n*-октадиен-3,4 или 3-этилгексан. Инфракрасные спектры продуктов гидрирования оказались идентичными со спектрами *n*-гептана и *n*-октана. Углеводороды с нормальным строением были получены при гидролизе и гидрировании двух других аддуктов.

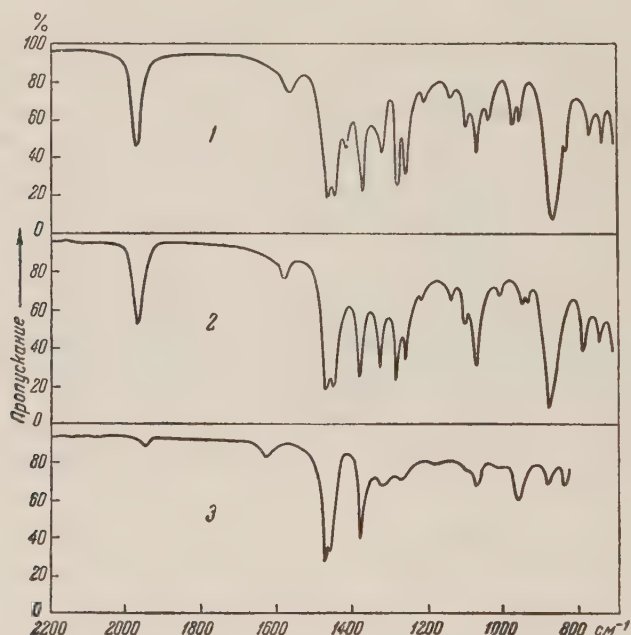
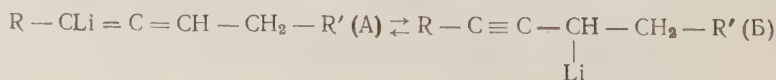


Рис. 1. Инфракрасные спектры пропускания. 1 — гептадиен-2,3, 2 — октадиен-3,4, 3 — остаток выше 160° при 5 мм (реакция винилэтилацетилена с литий-этилом)

Таким образом, было установлено, что литий-алкилы присоединяются к винилалкилацетиленам в 1,4-положении, причем атом лития идет к тройной связи. Последним обстоятельством, вероятно, и объясняется образование в достаточно большом количестве продуктов присоединения в отношении 1 : 1, так как литий-органические соединения с атомом лития у двойной связи должны быть менее реакционноспособными, чем литий-алкилы.

Таутомерные литий-органические соединения с атомом лития у простой связи (Б) в процессе реакции, по-видимому, не образуются.



Если бы они возникали, то в составе полимеров должны были бы присутствовать соединения с тройной связью. Между тем в инфракрасном спектре полимера (рис. 1, 3) частоты тройной связи не обнаружены. В этом спектре имеется частота двойной связи, по-видимому, в группировке $-\text{CH}=\text{CH}-$, так как в области деформационных частот имеется сильное поглощение при 964 см^{-1} . Указанная группировка скорее всего возникает за счет изомеризации алленовой системы в полимере*.

Исследованная реакция представляет собою новый метод получения наименее доступной и изученной группы алленовых углеводородов с почти любым заданным положением алленовой группировки в середине углеродной цепи.

Экспериментальная часть

Винилалкилацетилены получались обычным способом ⁽⁵⁾. Литий-этил и литий-бутил синтезировались из соответствующих хлористых алкилов в петролейном ($56-60^\circ$) или серном эфире по известной методике ⁽¹⁾. Изменение природы растворителя не влияло на строение продукта присоединения, однако в эфире реакция проходила значительно быстрее и выход алленовых углеводородов был выше. Концентрация применяемых растворов литий-алкилов находилась в пределах $0,94-1,0\text{ N}$ и определялась двойным титрованием ⁽⁶⁾. Ниже приводится более подробное описание реакции литий-этила с винилэтилацетиленом.

В трехгорлую колбу, снабженную мешалкой, обратным холодильником и термометром и предварительно продутую азотом, из сосуда Шленка при встречном токе азота вводилось $0,5\text{ г}$ -моля эфирного раствора литий-этила и затем $0,5\text{ г}$ -моля винилэтилацетилена, разбавленного тем же растворителем в отношении $1:1$. При смешении реагентов наблюдалось повышение температуры. По окончании реакции (через 20 мин.) содержимое колбы выливалось в ледяную воду. Верхний углеводородный слой отмывался водой до нейтральной реакции, сушился окисью алюминия и подвергался разгонке. При этом было получено 20 г октадиена-3,4 с константами, приведенными в таблице, и 20 г вышекипящих продуктов, половина которых отгоняется в вакууме (5 мм) до 160° .

В аналогичном опыте в петролейном эфире наблюдалось лишь незначительное повышение температуры (около 10°) и реакция продолжалась около $1,5\text{ часа}$. При этом было получено 15 г октадиена-3,4 и 10 г вышекипящих продуктов. Аналитические данные для полученных алленовых углеводородов приведены в таблице.

При гидрировании $2,2\text{ г}$ гептадиена-2,3 в 30 мл метанола на коллоидальном палладии (10 мл) поглотилось 1025 мл H_2 ($771,9\text{ мм}$, 19°). Получено $1,8\text{ г}$ гептана с т. кип. $98-99^\circ$, $d_4^{20} 0,6833$ и $n_D^{20} 1,3880$, что соответствует литературным данным ⁽⁷⁾.

При гидрировании $9,6\text{ г}$ октадиена-3,4 в 40 мл метанола поглотилось 4200 мл H_2 ($770,5\text{ мм}$, $20,5^\circ$). Получено $9,0\text{ г}$ октана с т. кип. $125-126^\circ$, $d_4^{20} 0,7021$, $n_D^{20} 1,3980$, что отвечает тем же литературным данным.

Ленинградский технологический институт
им. Ленсовета

Поступило
24 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ К. А. Кочешков, Т. В. Талалаева, Синтетические методы в области металлоорганических соединений лития, натрия, калия, рубидия и цезия, Изд. АН СССР, 1949. ² K. Ziegler et al., Lieb. Ann., **567**, 43, 179 (1950). ³ P. D. Bartlett, S. Fridman, M. Stiles, J. Am. Chem. Soc., **75**, 1771 (1953). ⁴ А. А. Петров и др., ЖОХ, **27**, 928, 1805, 2076 (1957); **28**, 2324 (1958). ⁵ R. A. Jacobson, W. H. Carothers, J. Am. Chem. Soc., **55**, 1624 (1933). ⁶ F. Gilman, A. Haubein, J. Am. Chem. Soc., **66**, 1515 (1944). ⁷ Р. Д. Оболенцев, Физические константы углеводородов, 1953.

* Авторы выражают свою благодарность Т. В. Яковлевой за помощь в исследовании спектров.

Т. Н. ПЛИЕВ

К ИССЛЕДОВАНИЮ КОНФОРМАЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ В РЯДУ ТРАНС-1,2-ДИГАЛОИДОЦИКЛОГЕКСАНОВ

(Представлено академиком М. И. Кабачником 26 XII 1958)

В молекулах транс-1,2-дизамещенных производных циклогексана замещенные группы могут занимать или экваториальные (ее), или аксиальные (аа) положения, причем обе конформации могут переходить друг в друга путем конверсии циклогексанового кольца. Исследование конформационного равновесия в ряду транс-1,2-дигалоидоциклогексанов дает возможность определить наиболее устойчивые конформации молекул в различных условиях. Методами дифракции электронов, дипольных моментов и частично с помощью колебательных спектров (¹⁶) удалось показать, что в парообразной фазе и в растворах указанные галоидопроизводные циклогексана находятся в виде равновесных смесей диэкваториальной и диаксиальной конформаций.

Из транс-1,2-дигалоидопроизводных циклогексана к настоящему времени были синтезированы 1,2-дихлор-, 1,2-дибром- и 1,2-хлорбромциклогексаны.

Представляет значительный интерес определение концентраций различных форм молекул в растворе, в зависимости от температуры и природы растворителя, а также определение разностей энергий этих форм. Настоящая работа посвящена исследованию указанных вопросов на основании дипольных моментов.

Синтез транс-1,2-дигалоидоциклогексанов был осуществлен по описанному в литературе методам (⁵, ⁷, ⁸). Полученные образцы характеризовались следующими свойствами: транс-1,2-дихлорциклогексан — т. кип. 71,0° (15 мм), n_D^{25} 1,4880, d_4^{25} 1,1786; транс-1,2-дибромциклогексан — т. кип. 101,3° (14 мм), n_D^{25} 1,5509, d_4^{25} 1,7839; транс-1,2-хлорбромциклогексан — т. кип. 85,9° (14 мм), n_D^{25} 1,5175, d_4^{25} 1,4791.

Определение дипольных моментов трех транс-1,2-дигалоидоциклогексанов было осуществлено в растворах бензола и четыреххлористого углерода. Измерение диэлектрической проницаемости растворов производилось методом биений. Поляризация вычислялась по уравнению Халверстата — Кумлера (⁹):

$$P_{2\infty} = \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 2} \frac{1}{d_1} \left[1 + \frac{3a}{(\epsilon_1 - 1)(\epsilon_1 + 2)} - \frac{b}{d_1} \right],$$

где коэффициенты a и b определяются из соотношений:

$$\epsilon = \epsilon_1 + am \text{ и } d = d_1 + bm.$$

Дипольные моменты вычислялись по уравнению

$$\mu = 0,0128 \sqrt{(P_{2\infty} - P_E - P_A)T},$$

где молекулярная поляризация $P_{2\infty} = M_2 \cdot P_{2\infty}$ (M_2 — молекулярный вес растворенного вещества). Все обозначения имеют обычные значения. Электронная поляризация молекул принималась равной молярной рефракции

Диэлектрические проницаемости и плотности растворов

В растворе C ₆ H ₆				В растворе CCl ₄				В растворе C ₆ H ₆				В растворе CCl ₄			
T-ра, °C	m	ε	d	T-ра, °C	m	ε	d	T-ра, °C	m	ε	d	T-ра, °C	m	ε	d
Транс-1,2-дихлорциклогексан															
25	0,00000	2,2705	0,8756	0,00000	2,2255	0,8588	1,5852	40	0,00000	2,2414	0,8588	0,00000	2,1967	1,5557	
	0,01032	2,3247	0,8785	0,01145	2,2866	0,8734	1,5766		0,01121	2,2831	0,8734	0,01126	2,2264	1,5592	
	0,01513	2,3604	0,8810	0,01631	2,3270	0,8804	1,5729		0,01435	2,2949	0,8804	0,01535	2,2536	1,5604	
	0,01855	2,3988	0,8827	0,01951	2,3470	0,8822	1,5721		0,01732	2,3267	0,8822	0,02145	2,2743	1,5623	
	0,02654	2,4132	0,8863	0,02785	2,3992	0,8863	1,5674		0,02845	2,3472	0,8863	0,02916	2,2743	1,5648	
			b=0,357		a=6,225		b=0,704			a=3,736			a=2,650	b=0,309	
30	0,00000	2,2611	0,8684	0,00000	2,2138	0,8474	1,5724	50	0,00000	2,2212	0,8474	0,00000	2,1736	1,5529	
	0,01032	2,3163	0,8734	0,01145	2,2600	0,8624	1,5665		0,01121	2,2629	0,8624	0,01126	2,2021	1,5664	
	0,01513	2,3415	0,8757	0,01631	2,3171	0,8666	1,5659		0,01435	2,2747	0,8666	0,01535	2,2126	1,5677	
	0,01855	2,3610	0,8774	0,01951	2,3376	0,8713	1,5622		0,01732	2,3025	0,8713	0,02145	2,2283	1,5695	
	0,02654	2,4057	0,8813	0,02785	2,3908	0,8856	1,5579		0,02845	2,3275	0,8856	0,02906	2,2481	1,5621	
			b=0,484		a=6,337		b=0,520			a=3,733		b=1,340	a=2,545	b=0,312	
40	0,00000	2,2412	0,8587	0,00000	2,1966	0,8475	1,5559	Транс-1,2-хлорбромциклогексан							
	0,01032	2,2929	0,8627	0,01145	2,2632	0,8587	1,5471	25	0,00000	2,2708	0,8756	0,00000	2,2256	1,5854	
	0,01513	2,3174	0,8651	0,01631	2,2918	0,8676	1,5444		0,01145	2,3232	0,8756	0,01167	2,2742	1,5831	
	0,01855	2,3382	0,8668	0,01951	2,3105	0,8713	1,5431		0,01416	2,3421	0,8713	0,01846	2,3025	1,5834	
	0,02654	2,3735	0,8704	0,02785	2,3596	0,8766	1,5389		0,02243	2,3621	0,8766	0,02375	2,3249	1,5815	
			b=0,422		a=5,837		b=0,685		0,03112	2,4286	0,8766	0,03255	2,3617	1,5801	
50	0,00000	2,2211	0,8475	0,00000	2,1738	0,8385	1,5380	30	0,00000	2,5043	0,8685	0,00000	2,2138	1,5725	
	0,01032	2,2710	0,8522	0,01145	2,2384	0,8504	1,5276		0,01045	2,2614	0,8504	0,01167	2,2613	1,5705	
	0,01513	2,2947	0,8544	0,01631	2,2663	0,8547	1,5238		0,01416	2,3132	0,8547	0,01846	2,2891	1,5694	
	0,01855	2,3144	0,8561	0,01951	2,2921	0,8584	1,5199		0,02243	2,3316	0,8584	0,02375	2,3109	1,5685	
	0,02654	2,3516	0,8597	0,02785	2,3332	0,8631	1,5169		0,03112	2,3728	0,8631	0,03255	2,3474	1,5671	
			b=0,458		a=5,679		b=0,469			2,4166	0,8631		a=4,087	b=0,168	
Транс-1,2-дибромциклогексан															
25	0,00000	2,2706	0,8755	0,00000	2,2257	0,8588	1,5853	40	0,00000	2,2415	0,8587	0,00000	2,1966	1,5558	
	0,01032	2,3125	0,8839	0,01145	2,2565	0,8707	1,5888		0,01121	2,2911	0,8707	0,01167	2,2416	1,5541	
	0,01513	2,3244	0,8891	0,01631	2,2678	0,8749	1,5901		0,01416	2,3089	0,8749	0,01846	2,2582	1,5528	
	0,01855	2,3522	0,8929	0,01951	2,2847	0,8843	1,5919	50	0,01416	2,3384	0,8843	0,02375	2,2890	1,5518	
	0,02654	2,3776	0,8949	0,02785	2,3062	0,8943	1,5944		0,03112	2,3604	0,8943	0,03255	2,3236	1,5503	
			b=1,231		a=2,748		b=0,311			a=4,765			a=3,886	b=0,161	
30	0,00000	2,2615	0,8685	0,00000	2,2137	0,8475	1,5725		0,00000	2,2214	0,8475	0,00000	2,1738	1,5390	
	0,01032	2,3086	0,8835	0,01145	2,2440	0,8595	1,5761		0,01121	2,2793	0,8595	0,01167	2,2161	1,5312	
	0,01513	2,3180	0,8878	0,01631	2,2551	0,8637	1,5773		0,01416	2,2864	0,8637	0,01846	2,2408	1,5301	
	0,01855	2,3472	0,8977	0,01951	2,2747	0,8731	1,5732		0,02243	2,3025	0,8731	0,02375	2,2502	1,5291	
	0,02654	2,3738	0,9067	0,02785	2,2931	0,8832	1,5616		0,03112	2,3699	0,8832	0,03255	2,2925	1,5275	
			b=1,342		a=2,703		b=0,314			a=4,597		b=1,145	a=3,635	b=0,116	

MR_D и вычислялась по активной схеме, исходя из известных значений атомных рефракций для D -линии натрия. Для атомной поляризации принималось: $P_A = 0,05 MR_D$.

В табл. 1 приводятся диэлектрические проницаемости и плотности растворов, а в табл. 2 — найденные значения дипольных моментов.

Из двух конформаций транс-1,2-дигалоидоциклогексанов, 1а2а и 1е2е, первая должна иметь нулевой дипольный момент, в то время как вторая должна иметь момент приблизительно такой же величины, которым обладает гош-форма 1,2-дигалоидоэтана. Поэтому, если количественное соотношение этих конформаций меняется с изменением температуры или растворителя, то соответственно должен меняться наблюдаемый дипольный момент.

Из данных табл. 2 видно, что момент транс-1,2-дихлорциклогексана в области 25—50° почти не обнаруживает температурной зависимости. С другой стороны, дипольные моменты этого производного, соответствующие 25—50°, заметно отличаются от дипольного момента, измеренного при 239° в парообразной фазе (3). Заметное отличие наблюдается также между моментами, измеренными в бензоле и в четыреххлористом углероде.

Значительное отличие наблюдается между дипольными моментами транс-1,2-дибромциклогексана, измеренными в растворах бензола и четыреххлористого углерода. Аналогичная картина имеет место в случае транс-1,2-хлорбромциклогексана.

На основании наблюденных дипольных моментов можно определить концентрации 1е2е- и 1а2а-форм дигалоидоциклогексанов в различных растворах, используя уравнение:

$$\mu^2 = (N_e \mu_e^2 + N_a \mu_a^2) / (N_e + N_a), \quad (1)$$

где N_e и N_a — числа молекул 1е2е- и 1а2а-форм, а μ_e и μ_a — соответствующие дипольные моменты.

Результаты расчетов приводятся в табл. 3, где через C_e и C_a обозначены молярные доли 1е2е- и 1а2а-форм. При расчете μ_e величина момента связи С-галоид была принята равной 1,9 D, как это вытекает из дипольных моментов цис-1,2-дигалоидоциклогексана. Расчет для транс-1,2-дибромциклогексана в растворе n -гептана, а также при 10° в других растворах был выполнен по данным (4); в случае транс-1,2-дихлорциклогексана расчет в парообразной фазе (239°) был проведен по данным (3). В этой же таблице приведены разности энергий 1е2е- и 1а2а-форм. Расчет ΔE основывался на уравнениях (1) и (2):

$$N_e/N_a = f_e/f_a \exp(-\Delta E/RT), \quad (2)$$

причем принималось, что в данном случае $f_e/f_a = 1$.

Из табл. 3 видно, что для различных транс-соединений в растворе бен-

зола молярная доля 1е2е-формы уменьшается в следующей последовательности: транс-1,2- $C_6H_{10}Cl_2$ > транс-1,2- $C_6H_{10}ClBr$ > транс-1,2- $C_6H_{10}Br_2$. Данные иллюстрируют наличие определенного динамического равновесия между двумя конформациями: $1е2е \rightleftharpoons 1а2а$.

С увеличением объема заместителя увеличивается энергия 1е2е-формы и одновременно возрастает в равновесии молярная доля 1а2а-молекул.

Таблица 2

Молекулярные поляризации и дипольные моменты транс-1,2-дигалоидопроизводных циклогексана

Вещество	Т-ра, °C	В растворе C_6H_6		В растворе CCl_4	
		$P_{200},$ см ³	$\mu,$ D	$P_{200},$ см ³	$\mu,$ D
Транс-1,2- $C_6H_{10}Cl_2$	25	181,1	2,63	141,3	2,23
	30	179,8	2,64	141,4	2,25
	40	176,3	2,65	138,1	2,25
Транс-1,2- $C_6H_{10}Br_2$	50	172,1	2,65	134,2	2,24
	25	137,1	2,14	106,0	1,75
	30	136,4	2,15	105,7	1,76
	40	133,4	2,15	105,7	1,79
	50	131,4	2,16	104,5	1,80
Транс-1,2- $C_6H_{10}ClBr$	25	166,4	2,48	127,3	2,06
	30	165,3	2,49	126,7	2,07
	40	160,3	2,48	123,9	2,07
	50	156,6	2,48	120,6	2,06

Таблица 3

молярные доли 1а2а- и 1е2е-форм в транс-1,2-дигалосидциклогексанах, находящихся в динамическом равновесии, и разности энергий диэкваториальной и диаксиальной конформаций

Вещество	Т-ра, °C	В растворе C ₆ H ₆				В растворе CCl ₄				В растворе <i>n</i> -гептана				Парообразная фаза			
		μ , D	C _e	C _a	$\Delta E = E_e - E_a$, кал/моль	μ , D	C _e	C _a	$\Delta E = E_e - E_a$, кал/моль	μ , D	C _e	C _a	$\Delta E = E_e - E_a$, кал/моль	μ , D	C _e	C _a	$\Delta E = E_e - E_a$, кал/моль
Транс-1,2- C ₆ H ₁₀ Cl ₂	25	2,63	0,72	0,28	—559	2,23	0,52	0,48	—47	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	2,64	0,72	0,28	—568	2,25	0,53	0,47	—72	—	—	—	—	—	—	—	—
	40	2,65	0,73	0,27	—618	2,25	0,53	0,47	—74	—	—	—	—	—	—	—	—
	50	2,65	0,73	0,27	—638	2,24	0,52	0,48	—51	—	—	—	—	—	—	—	—
	239	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Транс-1,2- C ₆ H ₁₀ Br ₂	10	2,14	0,48	0,52	45	1,71	0,30	0,70	476	1,72	0,31	0,69	450	2,31	0,56	0,44	—245
	25	2,14	0,48	0,52	47	1,75	0,32	0,68	446	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	2,15	0,48	0,52	48	1,76	0,32	0,68	454	1,77	0,33	0,67	426	—	—	—	—
	40	2,15	0,48	0,52	49	1,79	0,33	0,67	440	—	—	—	—	—	—	—	—
	50	2,16	0,49	0,51	25	1,80	0,34	0,66	425	1,81	0,34	0,66	425	—	—	—	—
Транс-1,2- C ₆ H ₁₀ ClBr	25	2,48	0,64	0,36	—341	2,06	0,44	0,56	143	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	2,49	0,65	0,35	—372	2,07	0,44	0,56	145	—	—	—	—	—	—	—	—
	40	2,48	0,64	0,36	—358	2,07	0,44	0,56	150	—	—	—	—	—	—	—	—
	50	2,48	0,64	0,36	—368	2,06	0,44	0,56	155	—	—	—	—	—	—	—	—

Разности энергий показывают, что в растворе бензола 1е2е-форма транс-1,2-С₆Н₁₀Cl₂ и транс-1,2-С₆Н₁₀ClBr устойчивее 1а2а-формы, в случае же транс-1,2-С₆Н₁₀Br₂, наоборот, 1а2а-форма несколько устойчивее 1е2е-формы. В растворе CCl₄ диэкваториальная конформация транс-1,2-С₆Н₁₀Cl₂ несколько устойчивее диаксиальной конформации. Кодзима и др. (4) делают противоположный вывод, что, по-видимому, связано с тем, что значение дипольного момента дихлорпроизводного в CCl₄ по данным (4) несколько снижено. Для двух других транс-1,2-дипроизводных в растворе CCl₄ 1а2а-форма устойчивее 1е2е-формы; аналогичная картина имеет место для дибромпроизводного в растворе *n*-гептана. Таким образом, во всех трех растворителях диаксиальная конформация транс-1,2-дигалосидциклогексана обладает меньшей энергией и соответственно большей устойчивостью по сравнению с диэкваториальной конформацией, что находится в противоречии с правилом Хасселя о преобладании экваториальных форм в ряду производных циклогексана и подтверждает различную роль стерических и электростатических факторов в разных производных циклогексана.

Сравнение разностей энергий двух форм дихлор- и дибром-производного в одном и том же растворителе показывает, что 1е2е-форма транс-1,2-С₆Н₁₀Br₂ менее устойчива, чем 1е2е-форма транс-1,2-С₆Н₁₀Cl₂. Это объясняется большим ван-дерваальсовым радиусом Br по сравнению с атомом Cl.

В бензольном растворе транс-1,2-хлорбромциклогексана преобладает более устойчивая в этом растворе диэкваториальная форма, тогда как в растворе CCl₄ большую устойчивость приобретает диаксиальная форма, что сопровождается увеличением молярной доли последней.

Якутский государственный университет

Поступило
26 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ O. Bastiansen, O. Hassel, Tidsskr. kjemi, bergves. og Metallurg., **6**, 96 (1946). ² O. Bastiansen, O. Hassel, A. Munthe-Kaas, Acta chem. scand., **8**, 872 (1954). ³ A. Tulinski, A. Di Giacomo, C. P. Smyth, J. Am. Chem. Soc., **75**, 3552 (1953). ⁴ K. Kozima, K. Sakashita, S. Maeda, J. Am. Chem. Soc., **76**, 1965 (1954). ⁵ P. Bender, D. L. Flowers, H. L. Goering, J. Am. Chem. Soc., **77**, 3463 (1955). ⁶ W. Kwestroo, F. A. Meijer, E. Haringa, Rec. trav. chim., **73**, 717 (1954). ⁷ B. Carroll, D. G. Kubler et al., J. Am. Chem. Soc., **73**, 5382 (1951). ⁸ M. Mousseron, R. Granger, Valette, Bull. Soc. chim. France, **1946**, 244. ⁹ J. F. Halverstadt, D. Kumler, J. Am. Chem. Soc., **64**, 2988 (1942).

Академик А. В. ТОПЧИЕВ, В. П. АЛАНИЯ и И. С. МАЗЕЛЬ

ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ β -НИТРОСТИРОЛА

Исследование реакции полимеризации β -нитростирола представляет интерес в связи с большими задачами, стоящими перед исследователями в области поисков новых мономеров и путей их полимеризации.

Исследование реакции полимеризации β -нитростирола представляет также и теоретический интерес, так как по своему строению β -нитростирол относится к такому типу соединений, которые трудно полимеризуются, давая лишь димеры.

Вероятно, этим и объясняется то, что при анализе литературы не было найдено работ по полимеризации β -нитростирола, за исключением сообщения, сделанного Воландером и Харманом ⁽¹⁾ в 1899 г., о том, что в присутствии натрий-малонового эфира наблюдалось образование нерастворимого полимера β -нитростирола с температурой плавления около 280°.

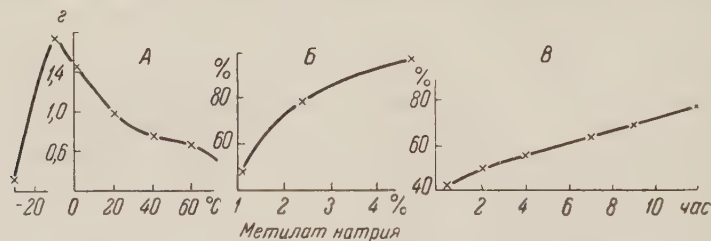


Рис. 1. Выход полимера β -нитростирола в присутствии катализатора — метилата натрия. А — в зависимости от температуры; Б — в зависимости от количества катализатора при оптимальной температуре (—10°); В — в зависимости от продолжительности процесса полимеризации

β -Нитростирол готовился путем конденсации нитрометана с бензальдегидом. Полученный продукт имел молекулярный вес 149, температуру плавления 58°.

Реакция полимеризации β -нитростирола проводилась в трехгорлой колбе, снабженной мешалкой, холодильником и термометром. Необходимая температура реакции поддерживалась с помощью соответствующей бани (вода — масло, лед, лед — соль, этиловый спирт — сухой лед). К полученным продуктам реакции добавлялся хлороформ, в котором растворялась часть продукта, часть же его оставалась в виде осадка. Полученный осадок сушился под вакуумом до постоянного веса и затем обрабатывался этиловым спиртом, в котором частично растворялся.

Результаты анализа продуктов реакции, растворимых в хлороформе и этиловом спирте (определение молекулярных весов по Расту и температуры плавления), показали, что при обработке хлороформом отделялся не вошедший в реакцию β -нитростирол, а обработкой этиловым спиртом отделялся тример β -нитростирола. Не растворимый в хлороформе и этиловом спирте осадок представлял собой белый аморфный порошок — полимер β -нитростирола.

При исследовании реакции полимеризации β -нитростирола было испытано влияние ряда катализаторов.

Применение в качестве катализаторов таких соединений, как эфират фтористого бора, молекулярного соединения фтористый бор — фосфорная кислота, перекиси бензола и пиридина, не дало никаких результатов.

В присутствии натрий-малонового эфира в качестве катализатора был получен морфный порошок полимера β -нитростирола. Наиболее активным катализатором казался примененный впервые для данной реакции метилат натрия. В присутствии этого катализатора β -нитростирол легко полимеризуется, давая нерастворимый морфный полимер.

Был исследован выход полимера в зависимости от температуры, количества катализатора и времени. Реакция проводилась в интервале температур от $+70$ до -30° , количество катализатора варьировалось от 1 до 4,9%, время менялось от 30 мин. до 14 час. Полученные результаты представлены на рис. 1, 2, 3. Как видно из полученных результатов, оптимальной температурой, при которой выход полимера достигал 98%, является температура -10° в присутствии 4,7% катализатора по отношению к мономеру при продолжительности опыта 10—12 час. В присутствии 2,3% катализатора выход полимера составлял 79%. При изменении времени реакции от 12 час. до 30 мин. выход полимера падает от 79 до 40%.

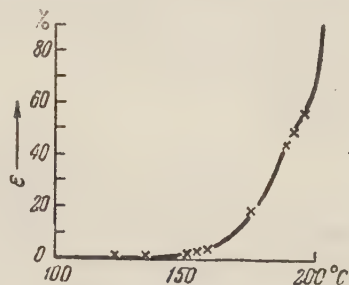


Рис. 2. Термомеханическая кривая полимера β -нитростирола при нагрузке в 100 г

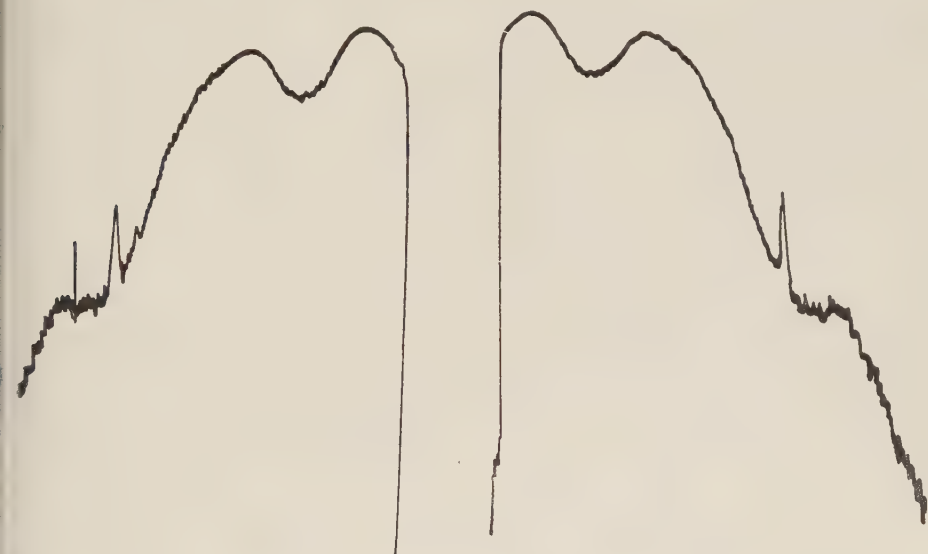


Рис. 4. Микрофотограмма, полученная с рентгенограммами полимера β -нитростирола

Наряду с полимером наблюдалось также образование до 6% тримера β -нитростирола. Полученный полимер β -нитростирола не растворим в спиртах, галондопроизводных, парафинах, аминах, альдегидах, органических кислотах, ароматических углеводородах и их производных и ряде других растворителей.

При определении температуры плавления в капилляре, заполненном азотом, оказалось, что полимер разлагается при 215° . Была снята термомеханическая кривая полимера, представленная на рис. 2. Полимер был подверг-

нут рентгеноскопическому исследованию. На рис. 3 (см. вклейку стр. 1005) и рис. 4 приведена рентгенограмма полимера β -нитростирола и микрофотограмма, полученная с рентгенограммами. На рентгенограмме явно выделяется внутреннее кольцо полимеризации.

Сравнение полученной рентгенограммы с рентгенограммой полистирола указывало на сходство в строении полученного полимера β -нитростирола с полистиролом.

Поступило
19 XII 1958

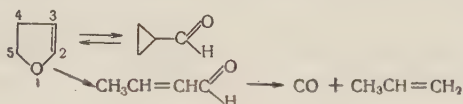
ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Синтез органических препаратов, 2, 1932, стр. 171. ² Voländer, Hermann
Chem. Zbl., 1, № 1—3, 730 (1899).

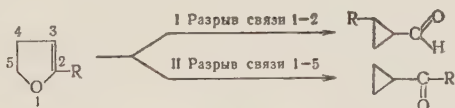
Член-корреспондент АН СССР Н. И. ШУЙКИН, И. Ф. БЕЛЬСКИЙ
и Р. А. КАРАХАНОВ

ТЕРМИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ 2-МЕТИЛ-4,5-ДИГИДРОФУРАНА В МЕТИЛЦИКЛОПРОПИЛКЕТОН

В 1947 году Вильсон⁽¹⁾, исследуя термические превращения 2,3-дигидрофурана, нашел, что это соединение изомеризуется при 375° в циклопропанальдегид, причем образуется также небольшое количество кротонового альдегида, который в условиях эксперимента частично декарбонилируется в пропилен. Газообразование увеличивается с повышением температуры:



Вильсон показал, что реакция изомеризации дигидрофурана в циклопропанальдегид обратима, так как при пропускании циклопропанальдегида тех же условиях он наблюдал образование небольших количеств дигидрофурана. Неравноценность С — О-связей в молекуле дигидрофурана зависит только от наличия двойной связи в цикле, и именно это обстоятельство должно определять направление раскрытия дигидрофуранового цикла. Вильсон считал, что 2,3-дигидрофуран, изомеризуясь в циклопропанальдегид, идет себя аналогично простым виниловым эфирам. Однако из формально-структурных соображений ясно, что образование циклопропанальдегида возможно в результате раскрытия дигидрофуранового цикла как по — О-связи 1,2, так и по С — О-связи 1,5, и поэтому результаты, полученные при изомеризации 2,3-дигидрофурана, не могут дать окончательного ответа на вопрос о направлении раскрытия цикла дигидрофурана. В случае изомеризации α -алкилдигидрофуранов должны получаться два различных продукта — альдегид или кетон, в зависимости от того, какая из двух — О-связей подвергнется расщеплению:



Мы поставили задачу изучить реакцию изомеризации таких α -алкилзамещенных 2,3-дигидрофуранов, у которых алкильная группа находится двойной связи.

При изучении термических превращений 2-метил-4,5-дигидрофурана в температурах, лежащих в пределах 300—500°, мы нашли, что при 5—500° он изомеризуется в метилциклопропилкетон (реакция II). Этот результат показывает, что при изомеризации дигидрофуранового цикла происходит разрыв С — О-связи 1,5 с последующим образованием новой связи между С-атомами 3 и 5 и кетогруппы в боковой цепочке.

В отличие от реакции изомеризации 2,3-дигидрофурана в циклопропанальдегид, которая является обратимой, изомеризация 2-метил-4,5-дигидрофурана в метилциклопропилкетон протекает необратимо, так как последний при 475—500° не превращается обратно в 2-метил-4,5-дигидрофуран.

Экспериментальная часть

Дигидросильван был получен дегидратацией ацетопропилового спирта по методу Кирида и Циенти⁽²⁾. После разгонки на эффективной колонке он имел следующие константы: т. кип. 79—80° (750 мм), d_4^{20} 0,9040 и n_D^{20} 1,4297. Реакция термической изомеризации проводилась в кварцевой трубке при 475—500°; в качестве наполнителя трубки и теплоносителя использовался битый кварц. В каждый опыт бралось 50 г дигидросильвана, который вводился в трубку, помещенную в электрическую печь, в течение ~10 часов. Степень конверсии при этом составляла практически 100%. Выход катализатора обычно составлял 40—45 г (80—90%). В одном из опытов было собрано около 1,5 литров газа. Высушенный жидкий катализат имел n_D^{20} 1,449, разгонкой на колонке эффективностью 30 т. т. из него было выделено 16,2 г (32,4% от теор.) метилциклопропилкетона, который кипел при 110,2—110,4° (742 мм) и имел d_4^{20} 0,8996 и n_D^{20} 1,4250; т. пл. семикарбазона 119—120°. Было получено также около 18 г высококипящего остатка, который не анализировался. Анализ газа показал, что он, в основном, состоит из СО (69%), метана (12%) и этана (10%). Выходы метилциклопропилкетона могут быть повышены до 40—50% при увеличении скорости пропускания дигидросильвана, однако степень превращения последнего при этом снижается до 50—60%.

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
5 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. Wilson, J. Am. Chem. Soc., **69**, 3002 (1947). ² L. Kyrides, F. Zientz, J. Am. Chem. Soc., **68**, 1385 (1946).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ф. И. ВИЛЕСОВ и академик А. Н. ТЕРЕНИН

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ВЫХОДА
ZnO, NiO и Cr₂O₃ ПРИ АДСОРБЦИИ ГАЗОВ И ПАРОВ**

С целью получения новых данных об электронодонорно-акцепторном взаимодействии молекул с поверхностью адсорбентов, являющихся типичными полупроводниками, было проведено исследование фотоэлектрической эмиссии с поверхности ZnO, NiO и Cr₂O₃ до и после адсорбции на них ряда газов и паров.

Данный метод исследования поверхностных явлений широко применялся ранее при изучении адсорбции атомов щелочных металлов и некоторых двухатомных молекул (водород, кислород) на поверхности вольфрама и некоторых других тугоплавких металлов (¹). Следует отметить выполненные в последнее время работы Зурмана (²), где внешний фотоэлектрический эффект плотиночно использовался для выяснения электронодонорного механизма адсорбции на металлах.

Изучение фотоэмиссии с окисных полупроводников встречает ряд трудностей, вызванных, в частности, значительной величиной работы выхода (порядка 6 эв); поэтому потребовалось основательно изменить ранее применявшиеся для этой цели установки (³).

Для получения монохроматического излучения в далекой ультрафиолетовой области спектра использовался вакуумный монохроматор, описанный в статье (⁴), который в сочетании с высоковольтной водородной лампой позволял получать потоки монохроматической радиации порядка 10^9 — 10^{10} фотонов/сек в области от 2500 до 1200 Å. Такой незначительный поток действующей радиации не мог заметно фотохимически изменить слой адсорбированных молекул в течение кратковременного освещения, применявшегося при измерениях (порядка 20 мин.). Учитывая низкий квантовый выход фотоэмиссии полупроводников, был использован наиболее чувствительный метод регистрации фотоэлектронов — счетчик Гейгера, который для той же цели в наиболее простом виде был применен ранее Безекемом (⁵).

В первой серии опытов адсорбент находился непосредственно в счетчике, заполненном аргоном (15 мм рт. ст.), к которому примешивался адсорбирующийся газ. Использовался счетчик с катодом в виде металлической пластинки (Cu, Al) размером 8×20 мм². Окислы в виде тонкого слоя наносились на всю поверхность катода. Анодом служила вольфрамовая нить диаметром 0,1 мм, расположенная параллельно катоду на расстоянии 5 мм. В второй серии опытов счетчик и вакуумная кювета с образцом были разделены вакуумноплотной пленкой коллодия толщиной 0,1—0,2 м. Фотоэлектроны, ускоренные до 4—5 кв с помощью системы кольцевых электродов (см. рис. 1), проходили через пленку коллодия в чувствительный объем орцевого счетчика и регистрировались им. Адсорбент в виде слоя (0,5—1 мм) наносился на палец, который мог прогреваться до температуры 350—400° с помощью печки, введенной в палец. Для электрического контакта с адсорбентом палец был покрыт проводящим слоем окиси олова, полученным путем термического разложения паров хлористого олова. Данное устройство позволяло независимо от счетчика производить вакуумную тренировку адсорбента при высоких температурах, адсорбировать на

нем газы независимо от рабочей смеси счетчика и производить исследование фотоэлектрической эмиссии в условиях высокого вакуума. Точность измерения спектрального порога фотоэмиссии была порядка 0,1 эВ.

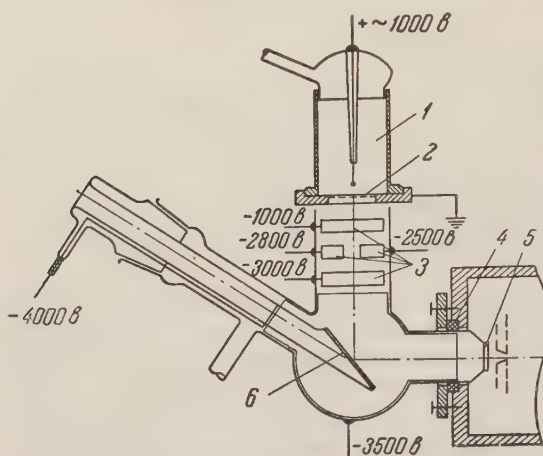


Рис. 1. Схема вакуумной кюветы для исследования фотоэмиссии с поверхности полупроводников. 1 — счетчик электронов, 2 — вакуумноплотная пленка коллодия, 3 — система ускоряющих электродов, 4 — уплотнение, 5 — окно из фтористого лития, 6 — палец с образцом

делу у 1970 \AA ($6,3 \pm 0,1$ эВ). Такое значение фотоэлектрической работы выхода принадлежит чистой поверхности окиси цинка и определяется положением верхнего уровня заполненной зоны. При впуске сухого воздуха и кислорода происходит постепенное обратное смещение порога к значениям $7,2\text{—}7,3$ эВ. Данный процесс вполне обратим и может быть повторен много раз с одним и тем же образцом.

Значительное увеличение фотоэлектрической работы выхода с поверхности окиси цинка при адсорбции кислорода на величину около 1 эВ свидетельствует об отрицательном заряде поверхностного слоя. Очевидно, кислород как акцептор электронов заряжается отрицательно, а поверхность окиси цинка, являясь донором электронов, заряжается положительно. Образующийся дипольный слой препятствует выходу электронов и увеличивает работу выхода на величину $\Delta\phi$

$$\Delta\phi = 4\pi n e \mu,$$

где n — количество элементарных диполей на 1 см^2 поверхности, e — заряд электрона, μ — электрический момент элементарного диполя. Данные результаты согласуются с многими работами (6), в которых было установлено уменьшение темновой проводимости окиси цинка при адсорбции кислорода.

Рассмотрение энергетического цикла перехода электрона проводимости окиси цинка к кислороду при предположении, что кислород хемосорбируется в виде O_2^- , с учетом полученных нами значений фотоэлектрической работы выхода с чистой и насыщенной кислородом поверхности окиси цинка $6,3$ и $7,3$ эВ соответственно, а также значений электронного сродства молекулы кислорода $0,87$ эВ (7) и ширины запрещенной зоны $3,1$ эВ (8), показывает, что уровень адсорбированного отрицательного иона кислорода должен находиться ниже дна зоны проводимости на $0,2\text{—}1,2$ эВ, что согласуется с результатами других работ нашей лаборатории (9), в которых дел

* Использовалась мелкодисперсная каталитически активная окись цинка, полученная термическим разложением оксалата цинка при температуре $350\text{—}400^\circ$. Слой окиси цинка наносился из суспензии в этаноле.

лось такое предположение. При адсорбции CH_4 , CO и паров H_2O на очищенной термической обработкой поверхности окиси цинка наблюдается незначительное перемещение порога фотоэмиссии в длинноволновую сторону на 0,3—0,1 эв. Так как значительная часть CO адсорбируется на окиси цинка слабо ⁽¹⁰⁾, было проведено измерение порога фотоэмиссии в атмосфере CO . Для этого образец помещался в счетчик с наполнением: CO (5 мм рт. ст.), Ar (15 мм рт. ст.). Перед наполнением счетчика указанной смесью окись цинка очищалась тлеющим разрядом в атмосфере аргона. Полученный в этой установке порог 6,0 эв согласуется с измерением в вакуумной кювете 6,1 эв. Такое хорошее совпадение значений порога фотоэмиссии свидетельствует о том, что слабо адсорбированная окись углерода не влияет на работу выхода с поверхности окиси цинка. Незначительные изменения фотоэлектрической работы выхода с поверхности окиси цинка при адсорбции на ней CO , а также паров H_2O указывают на то, что при 20° поверхностная связь этих молекул имеет ковалентный характер. Незначительное уменьшение работы выхода может быть объяснено этим или постоянным дипольным моментом молекул, которые при адсорбции ориентируются положительными зарядами наружу.

В ряд работ (см. например, ⁽¹¹⁾) указывается, что алифатические и ароматические углеводороды хемосорбируются на окисных катализаторах с некоторым смещением валентных электронов в сторону центров адсорбции. Для проверки данного положения нами было исследовано изменение работы выхода с поверхности ZnO , NiO и Cr_2O_3 при адсорбции на них бензола и этанола. Окись хрома* каталитически активна, вызывает разложение спиртов ⁽¹²⁾. Закись никеля представляла мелкодисперсный каталитически активный препарат. Так как пары бензола и этанола растворяются в коллодии, то измерения производились непосредственно в счетчике с наполнением: адсорбирующийся пар (3—5 мм рт. ст.), Ar (15 мм рт. ст.).

На всех трех окислах при адсорбции на них этанола происходит уменьшение фотоэлектрической работы выхода на 0,8—1 эв (рис. 3), однако кривые эмиссии по своему виду резко отличаются для различных адсорбентов, что может быть вызвано различной неоднородностью поверхности, а также различными превращениями молекулы этанола в процессе хемосорбции. Так, при адсорбции этанола на закиси никеля порог смещается от 5,5 до 4,5 эв, причем в области 4,5—5,2 эв выход эмиссии сравнительно невелик и мало увеличивается с уменьшением длины волны действующей радиации. При адсорбции этанола на окиси хрома работа выхода уменьшается с 6,5 эв до 5,5 эв, кроме того в области 1900 Å (6,5 эв) наблюдается селективный максимум фотоэмиссии. Подобный максимум фотоэмиссии наблюдался также при адсорбции красителя эозина на поверхности окиси олова при небольших заполнениях поверхности.

В первом случае селективный максимум фотоэмиссии может быть обусловлен фотоионизацией поверхностных соединений, образующихся при

* Окись хрома была приготовлена из бихромата аммония доцентом ЛГУ В. А. Комаровым, за что мы выражаем ему глубокую благодарность.

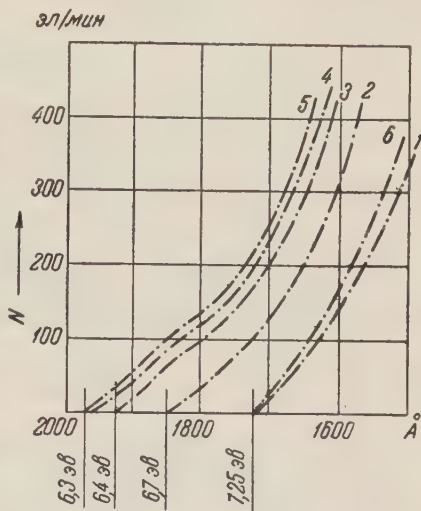


Рис. 2. Выход фотоэмиссии с поверхности окиси цинка при адсорбции кислорода. 1 — поверхность образца насыщена кислородом; 2 — образец прогрет до 300—350° в течение 20 мин. под откачкой; 3, 4, 5 — аналогичные термические обработки под откачкой; 6 — поверхность обработана кислородом (3—5 мм рт. ст., 10 мин.)

разложении этанола на поверхности окиси хрома (¹³), во втором — фотоионизацией адсорбированных молекул эозина. Фотоионизация самих адсорбированных молекул этанола маловероятна, так как потенциал ионизации этанола в газообразном состоянии находится около 10 эв. В присутствии паров бензола в счетчике на рассмотренных адсорбентах также происходит

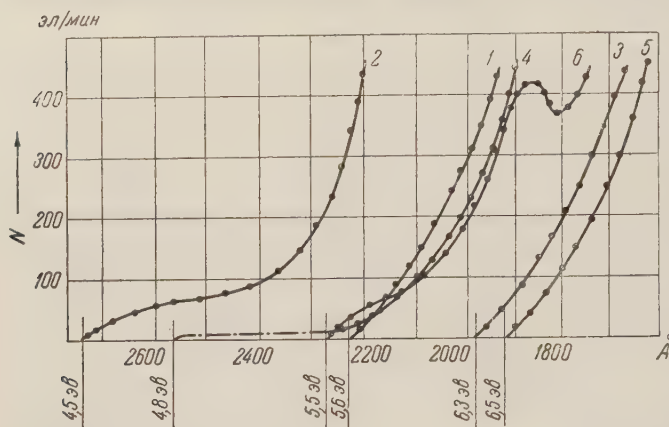


Рис. 3. Выход фотоэмиссии с поверхности NiO, ZnO и Cr_2O_3 при адсорбции этанола. 1 — NiO после термической обработки под откачкой; 2 — NiO в парах этанола (3—5 мм рт. ст.); 3 — ZnO после термической обработки под откачкой; 4 — ZnO в парах этанола (3—5 мм рт. ст.); 5 — Cr_2O_3 после термической обработки под откачкой; 6 — Cr_2O_3 в парах этанола (3—5 мм рт. ст.)

аналогичен характеру кривых для чистых поверхностей окислов. Учитывая такой характер кривых эмиссии, а также большую подвижность π -электронов бензольного кольца, мы можем объяснить уменьшение работы выхода поляризацией адсорбированных молекул с оттягиванием электронного облака в сторону адсорбента. При адсорбции метана на закиси никеля и окиси цинка, ввиду высокой симметрии и малой поляризуемости адсорбируемых молекул, мы не наблюдали заметного смещения порога по сравнению с эмиссией с чистой поверхности этих окислов.

Результаты описанных опытов указывают, что бензол и этанол адсорбируются на окисях цинка и хрома (электронные полупроводники) и на закиси никеля (дырочный полупроводник) с некоторым смещением отрицательного заряда к центрам адсорбции. Величина уменьшения работы выхода не зависит от природы проводимости окислов и определяется природой адсорбированных молекул и центров адсорбции.

Ленинградский государственный университет
им А. А. Жданова

Поступило
28 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ж. Г. Де-Бур, *Электронная эмиссия и явления адсорбции*, М.—Л., 1936.
- ² R. Suhrman, *Zs. Electrochem.*, **56**, 351 (1952); R. Suhrman, K. Schulz, *Naturwiss.*, **40**, 139 (1953).
- ³ А. Н. Арсеньева-Гейль, *Внешний фотоэффект с полупроводников и диэлектриков*, М., 1957.
- ⁴ Ф. И. Вилесов, *Приборы и техн. эксперимента*, **4**, 89 (1958).
- ⁵ J. Balseken, *Rec. Trav. Chim.*, **47**, 1037 (1928).
- ⁶ E. Mollew, F. Stockman, *Ann. d. Phys.*, **3**, 340 (1928); Ф. И. Вергунас, Г. А. Коновалов, *ЖЭТФ*, **23**, 712 (1952); И. А. Мясников, С. Я. Пшежецкий, *Проблемы кинетики и катализа*, **8**, 34 (1955).
- ⁷ H. O. Pritschard, *Chem. Rev.*, **52**, 529 (1953).
- ⁸ П. Миллер, *Полупроводниковые материалы*, ИЛ, 1954, стр. 227.
- ⁹ К. В. Таганцев, А. Н. Теренин, *ДАН*, **112**, 241 (1957).
- ¹⁰ Н. П. Кейер, Г. И. Чижикова, *ДАН*, **120**, 830 (1958).
- ¹¹ Б. Трепнел, *Хемосорбция*, ИЛ, 1958.
- ¹² В. А. Комаров, *ЖФХ*, **27**, 1754 (1954).
- ¹³ Л. М. Роев, А. Н. Теренин, *ДАН*, **125**, № 3 (1959).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. С. КУЗЬМИНСКИЙ, В. Д. ЗАЙЦЕВА и Н. Н. ЛЕЖНЕВ

О ПОДАВЛЕНИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ В КАУЧУКАХ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 3. I 1959)

Известно, что соли металлов переменной валентности оказывают каталитическое действие на сопряженный цепной процесс окисления и изменения структуры каучуков.

По современным взглядам (^{1, 2}), ионы металлов при окислении углеводов играют двойную роль: катализируют первичную реакцию зарождения реакционной цепи и ускоряют распад перекисей на свободные радикалы (³).

Распад перекисей можно представить схемой:



По нашим данным, энергия активации (E) термического распада стабильных перекисей очищенного НК (полиизопрена) равна 31 ккал/моль; в присутствии же 0,1% Fe^{+++} (в виде нафтената) эта величина снижается до 23,5 ккал/моль. Несмотря на то, что значительное снижение E при окислении каучука, по видимому, отчасти компенсируется уменьшением энтропийного фактора, эффективность действия поливалентного иона в этой реакции значительна.

Подавление каталитического действия поливалентных ионов металлов, содержащихся в каучуках, является важным, но мало изученным вопросом. Настоящая работа частично восполняет этот пробел. Поведение солей металлов изучалось в двух типах каучуков: дивинилстирольном и натуральном.

Определялась скорость поглощения кислорода каучуком при разных температурах и изменение структуры каучука по вязкости растворов его в бензоле. Результаты приведены на рис. 1, 2 и 3.

Представляется целесообразным изучить связывание металлических ионов в стабильные, каталитически неактивные, комплексы (^{4, 5}).

Эти комплексы, образованные, очевидно, одним электроном слоя d иона Cu^{++} или пятью неспаренными электронами Fe^{+++} и Mn^{++} , отличаются полной блокировкой центрального иона молекулами адденда, вследствие

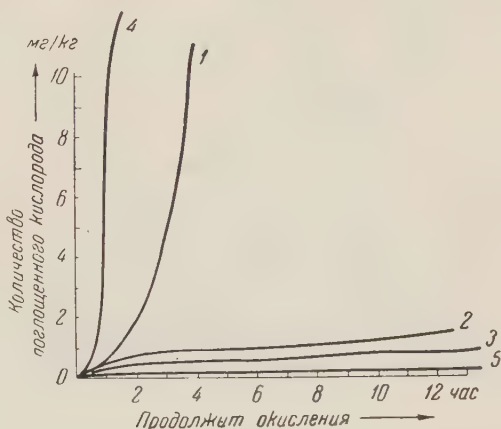


Рис. 1. Кинетика окисления технического НК в твердой фазе. Температура 100°, 1 — каучук + 0,003 моля меди на 100 г каучука, 2 — каучук + 0,003 моля меди + 0,05 моля диэтилдитиокарбамата натрия (смешаны на вальцах) на 100 г каучука, 3 — каучук + комплексная медная соль диэтилдитиокарбаминовой кислоты (синтезировано) из расчета 0,003 мол. меди на 100 г каучука, 4 — каучук + 0,003 мол. меди на 100 г каучука, 5 — каучук

чего переход электронов от этого иона к субстрату (перекиси каучука) или обратно становится невозможным.

Каталитическая активность металлических ионов переменной валентности свободных и связанных в комплексные соединения различной устойчивости рассматривалась в связи с проблемами биокатализа (⁶), причем было установлено, что активность ионов металлов тем меньше, чем выше стабильность комплексного соединения; менее стабильные комплексы могут обладать весьма высокой активностью по отношению к окислению вещества или распаду его перекисей.

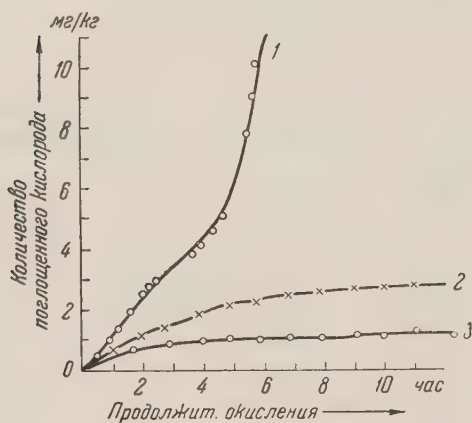


Рис. 2. Кинетика окисления технического НК в твердой фазе. Температура 100°. 1 — каучук + 0,03 моля железа на 100 г каучука, 2 — каучук + 0,03 моля железа + 0,25 моля параоксифенил-β-нафтиламина (смешаны на вальцах) на 100 г каучука, 3 — каучук + железная соль параоксифенил-β-нафтиламина (синтезировано) из расчета 0,03 моля железа на 100 г каучука

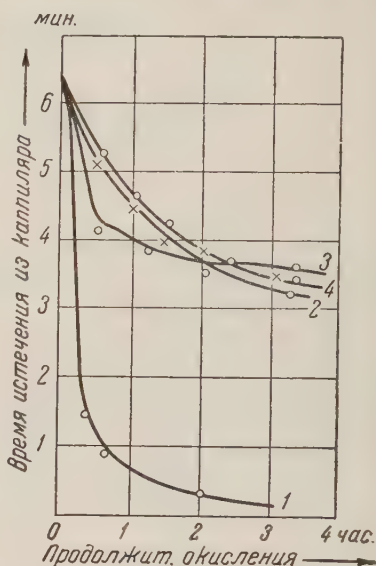


Рис. 3. Изменение вязкости при окислении пленок НК (очищенного). Температура 100°. 1 — каучук + 0,03 моля железа на 100 г каучука, 2 — каучук + 0,03 моля железа + 0,15 моля параоксифенил-β-нафтиламина на 100 г каучука, 4 — каучук + железная соль параоксифенил-β-нафтиламина (синтезировано) из расчета 0,03 моля железа на 100 г каучука

Каталитические свойства комплексных соединений исследованы преимущественно в гомогенных водных системах. О возможности катализа реакций в углеводородных средах комплексными соединениями и о подавлении активности иона металла, связанного в комплекс, имеются лишь весьма скудные сведения.

Реакция образования таких соединений в вязких молекулярных средах совсем не изучалась.

В первой части настоящей работы исследована способность солей металлов образовывать комплексные соединения с различными ингредиентами резиновых смесей: в растворах низкомолекулярных веществ и в каучуковой среде.

Процесс связывания иона меди антиоксидантом в бензольном растворе наблюдался по тушению флуоресценции бензольных и спиртовых растворов этих веществ.

Соотношения, обеспечивающие полное тушение флуоресценции, приведены в табл. 1.

Поскольку тушение флуоресценции можно связать с блокированием иона, оно указывает на уменьшение возможности валентного перехода и, следовательно, на уменьшение каталитической активности иона металла.

Дальнейшая работа была направлена на изучение возможности образования указанных выше комплексных соединений в каучуковых средах.

Соединения железа и меди с некоторыми ингредиентами резины образуют стабильные комплексные соединения, которые могут быть получены путем осаждения их из кислых или щелочных водных растворов с последующим тщательным отмыванием не вошедших в реакцию компонентов.

Таблица 1

Комплексообразователь	Структурная формула	Число атомов меди, приходящееся на одну молекулу комплексообразователя
Фенил-β-нафтиламин (не-озон Д)		1,5
Параоксифенил-β-нафтил-амин (оксинеозон)		3
Динафтилпарафенилен-диамин		4
Альдоль-α-нафтиламин		3
1,4-дифенилфениленди-амин		7,5
Диаминодифенилсульфид		5
Параоксидифениламин		0,1
Фентиазин		5

Состав этих соединений приводится в табл. 2.

Приведенные в табл. 1 и 2 отношения молекул органических соединений к атомам металлов в большинстве случаев не легко представить в виде определенной структуры, и вопрос этот подлежит дальнейшему исследованию.

Таблица 2

Название комплексной соли	Число атомов металла, связываемое одной молекулой комплексообразователя
Соль железа с тетраметилтиурамдисульфидом	1
Соль железа с параоксифенил-β-нафтиламином	2
Соль железа с диэтилдитиокарбаминовой кислотой	0,5
Соль меди с тетраметилтиурамдисульфидом	1
Соль меди с параоксифенил-β-нафтиламином	3
Соль меди с диэтилдитиокарбаминовой кислотой	0,5

Отметим, что в каучуковой среде реакция между комплексообразователем и металлом также протекает нацело, но с малой скоростью. Однако механическое перемешивание (вальцевание) значительно ускоряет процесс, который в этом случае заканчивается за 3 — 5 мин.

На рис. 1, 2 и 3 приводятся данные по кинетике окисления каучука в присутствии комплексных соединений, непосредственно образованных в углеводородной среде каучука, и синтезированных комплексных соединений, введенных в каучук, состав последних приводится в табл. 2.

На этих же рисунках для сравнения показано влияние ионов Cu^{++} и Fe^{+++} , находящихся в свободном состоянии. Связанные ионы металлов совершенно не влияют на скорость окисления и на изменение структуры каучука, т. е. утрачивают свою каталитическую активность.

В связи с этим резины, содержащие вещества, способные образовывать с ионами Cu^{++} , Fe^{+++} и др. комплексные соли, обладают более высокой устойчивостью по отношению к солям поливалентных металлов, чем каучуки, на основе которых они изготовлены.

Научно-исследовательский институт
резиновых и латексных изделий

Поступило
22 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. R. D a b a l d, Rub. Age, **71**, № 5 (1952). ² C. E. F r a n k, Chem. Rev., **46**, № 1 (1950). ³ C. H. B o w n, J. Oil and Colour Chem. Assoc., **36**, 443 (1953). ⁴ P. C h o v i n, C. R., **219**, № 19, 297 (1941). ⁵ G. S a l o m o n, Rev. gén. Cautch., **27**, № 11, 276 (1950). ⁶ Л. А. Н и к о л а е в, ЖФХ, **31**, в. 6 (1957).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. П. ПАВЛОВ и Г. В. ВИНОГРАДОВ

ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ТЕЧЕНИИ И ОСТАНОВКЕ ПОТОКА
АНОМАЛЬНО ВЯЗКИХ ТЕЛ

(Представлено академиком В. А. Каргиным 5 I 1959)

При изменении режима деформирования низковязких жидкостей и вообще систем с малым временем релаксации равновесные состояния достигаются за очень малые отрезки времени. Это относится также к процессам, связанным с выделением тепла при внутреннем трении. Для систем с достаточно высоким временем релаксации скорости перехода от одного равновесного состояния к другому могут иметь конечные значения. В этих случаях облегчается определение энергии, необходимой для перехода от одного состояния системы к другому. По выделению тепла после остановки потока или снижения скорости деформаций (D) возможна оценка энергии образования структуры у аномально вязких систем. На это до сих пор не обращали внимания. Однако уже давно в наших работах по капиллярной вискозиметрии консистентных смазок (¹, ²) было показано, что тепловыделение в потоке высокоструктурированных систем значительно меньше теоретически ожидаемого и развивающегося при течении ньютоновских жидкостей с эквивалентной вязкостью. После вытекания из капилляра на некотором расстоянии от его обреза в струе смазки наблюдается повышение температуры. Это уже тогда позволило предположить, что после выхода аномально вязкой системы из капилляра происходит выделение тепла в результате развития процесса структурообразования — тиксотропного восстановления.

Исследование тепловыделения в потоке имеет также важное значение для определения условий проведения вискозиметрических опытов при изотермических режимах или в связи с необходимостью внесения соответствующих поправок. Особенно существенно это в случае высоковязких сильно структурированных систем при исследовании их в ротационных вискозиметрах, когда D изменяется в широком диапазоне.

Наиболее просто осуществляется исследование процессов тепловыделения в потоке при высокой однородности поля напряжений сдвига. Поэтому в настоящей работе изучение тепловых эффектов производилось в описанном ранее (³) ротационном вискозиметре, в котором радиус внутреннего цилиндра был равен 6,3 мм, ширина зазоров составляла 0,25 мм. Рабочие поверхности цилиндров были гладкие (шлифованные). Для мгновенной остановки и одновременной разгрузки прибора от внешнего момента установка была снабжена мощным тормозным устройством и специальной муфтой. Прирост температуры (ΔT) в потоке определялся с точностью $\pm 0,005^\circ$ дифференциальной термопарой. Горячий спай термопары, помещенный в кольцевом зазоре, примерно, на расстоянии 0,1 мм от поверхности внутреннего цилиндра, непрерывно омывался исследуемым веществом. Холодный спай и сам вискозиметр погружались в циркуляционный термостат. Температура интенсивно перемешиваемой воды в термостате поддерживалась с точностью $\pm 0,005^\circ$. Изменения ΔT во времени фиксировались с помощью зеркального гальванометра и фоторегистрирующей камеры на фотобумаге.

Типичная фотограмма, отражающая кинетику изменения ΔT в опытах с ньютоновскими жидкостями, представлена кривой $OABCL$ на рис. 1. Здесь по оси абсцисс отложено время. Точка O соответствует началу опыта, когда задается $D = \text{const}$. Участок OA кривой AOB показывает повышение температуры, которое происходит при $D = \text{const}$ до тех пор, пока не будет достигнут установившийся тепловой режим (прямая AB). В установившемся потоке вся подводимая энергия в виде тепла переходит в термостат и $\Delta T = \Delta T_s = \text{const}$. В точке B (момент времени t_0) поток был остановлен ($D = 0$). Кривая BCD характеризует кинетику процесса охлаждения исследуемого вещества.

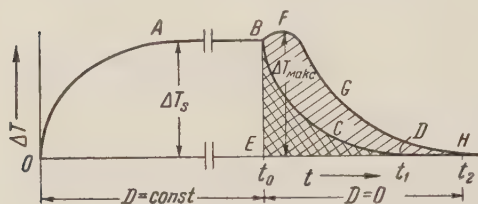


Рис. 1. Фотограммы тепловых эффектов для ньютоновских жидкостей и высокоструктурированных систем при развитии потока, на установившихся режимах течения и в случае остановки потока

(N_{sp}), необходимая для поддержания в ламинарном потоке с однородным после напряжений сдвига постоянной скорости деформации, равна $D\tau$. Пусть вся подводимая N_{sp} превращается в тепло. Одна часть его идет на подогрев испытуемого вещества, другая отводится в термостат. Тогда тепловой баланс процесса записывается так:

$$D\tau = c \frac{d(\Delta T)}{dt} + k\Delta T. \quad (1)$$

Здесь c — удельная (съемная) теплоемкость исследуемого вещества, k — коэффициент теплопередачи от этого вещества к жидкости в термостате.

Уравнение (1) по отношению к ньютоновским жидкостям представляет аналитическое выражение кривой $OABCD$. Ее прямолинейному участку AB соответствует равенство:

$$D\tau = k\Delta T_s. \quad (2)$$

Для случая остановки потока из уравнения (1) получаем:

$$c \frac{d(\Delta T)}{dt} + k_1\Delta T = 0. \quad (3)$$

Коэффициент теплопередачи в статических условиях может иметь значение, отличное от указанного в уравнениях (1) и (2). Поэтому в уравнении (3) он обозначен через k_1 . Однако в связи с очень большой трудностью опытного определения k_1 было принято, что $k_1 = k$.

Полагая c и k не зависящими от t и ΔT , а c , кроме того, неизменной в условиях покоя и течения, в результате интегрирования уравнения (3) получаем:

$$c\Delta T_s = -k \int_{t_0}^{t_1} \Delta T dt = kmS_1 = E_1. \quad (4)$$

Здесь m — коэффициент пропорциональности, который связывает численное значение интеграла с величиной площади $BCDE$ на рис. 1 обозначенной через S_1 . Из выражения (4) следует, что количество отводимого в термостат тепла E_1 , пропорциональное величине площади S_1 , равняется снижению теплосодержания жидкости на $c\Delta T_s$.

С целью определения коэффициента k изучалась зависимость ΔT_s от $D\tau$ при изменении $D\tau$ в пределах от 10^6 до 10^8 эрг·см⁻³·сек⁻¹. Объектами исследования были ньютоновские жидкости (нефтяные масла), пластичные дисперсные системы типа консистентных смазок, высокоструктурированные концентрированные растворы этилцеллюлозы и нафтената алюми-

ния в ряде растворителей, а также некоторые другие вещества. Была подтверждена справедливость уравнения (2) и показано, что k — постоянная вискозиметра, не зависящая от $D\tau$ и реологических свойств исследуемых веществ. В нашем случае $k = (5 \cdot 10^7 \pm 3\%) \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$.

Зная величину k и пользуясь уравнением (2), можно обеспечить изотермические условия определений вязкости при различных $D\tau$. По известным τ и D , согласно уравнению (2), следует вычислить ΔT_s . Если величина ΔT_s окажется выше допустимых погрешностей термостатирования, то температуру термостатной жидкости необходимо снизить на ΔT_s . Опыт полностью подтвердил эффективность этого приема.

Обратимся к рассмотрению того, что происходит при остановке потока высокоструктурированных систем (с той же теплоемкостью, что у ньютоновских жидкостей). На рис. 1 этому отвечает кривая $BFGH$. После мгновенной остановки прибора температура системы, заключенной в зазоре вискозиметра, растет, достигая через несколько секунд в точке F максимального значения. Далее в течение двух-трех минут она снижается по кривой FGH и в момент времени t_2 сравнивается с температурой воды в термостате. Величина $\delta = \Delta T_{\text{макс}} - \Delta T_s$ может достигать нескольких десятых градуса.

Повышение температуры высокоструктурированных систем после остановки их потока в ротационных вискозиметрах прекрасно согласуется с упомянутыми выше опытами, в которых определялись температуры в струе смазки после выхода ее из капилляра.

Обозначим через E_2 все количество тепла, выделяющееся при остановке потока структурированной системы. На рис. 1 ему соответствует площадь $BFGHE$, равная S_2 . При одинаковом исходном теплосодержании у ньютоновской жидкости и у структурированной системы (точка B на рис. 1) полное превышение тепловыделения при остановке потока структурированной системы, по сравнению с ньютоновской жидкостью, равно $E_{st} = E_2 - E_1 = km(S_2 - S_1)$. Кроме величины полного превышения тепловыделения (E_{st}) можно пользоваться также величиной превышения тепловыделения в каждый данный момент времени (E).

Повышенное тепловыделение при остановке потока структурированных систем не связано с работой, которая может быть совершена за счет запасенной в них упругой (потенциальной) энергии. Максимальную величину упругой энергии (E_e) легко вычислить, если допустить, что до предела прочности справедлив закон Гука. В этом случае получаются завышенные значения E_e . Тем не менее у высокоструктурированных систем типа смазок они, по крайней мере, на 4 десятичных порядка меньше значений E_{st} .

Тепловыделение и повышение температуры после остановки потока anomalно вязких систем происходит в результате протекающего во времени процесса структурообразования — при тиксотропном восстановлении их структуры. Количество выделившегося тепла определяет энергию структурообразования (E_{st}). При обратимых тиксотропных превращениях E_{st} должна равняться энергии разрушения структуры.

Быстрое затухание процесса тепловыделения связано с высокими значениями k и с тем, что скорость тиксотропного восстановления структурированных систем быстро убывает со временем.

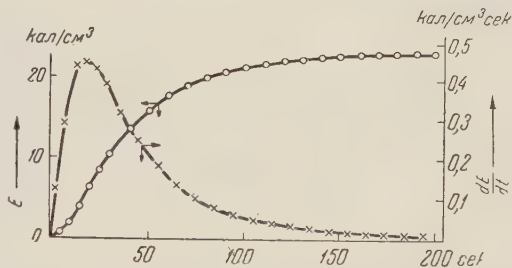


Рис. 2. Изменение во времени интегральных и дифференциальных теплот структурообразования при остановке потока гидратированной Са-смазки

На рис. 2 приведены типичные для высокоструктурированных систем данные о зависимости интегральных (E) и дифференциальных (dE/dt) тепловых эффектов от времени после мгновенной остановки потока. Объектом исследования был солидол — смазка, представляющая собой веретенное масло, загущенное 18,5% кальциевого мыла хлопкового масла. Опыт проводился при $D = 7200 \text{ сек}^{-1}$ и комнатной температуре. Из рис. 2 прежде

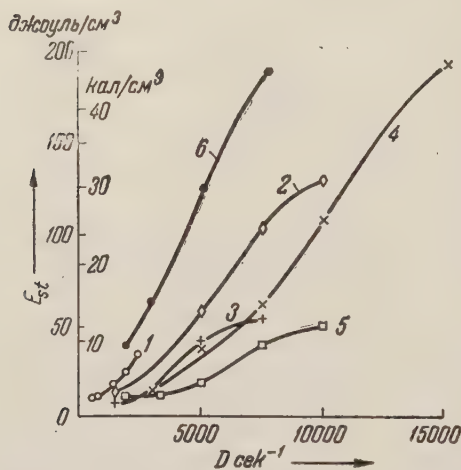


Рис. 3. Зависимость теплоты структурообразования от скорости деформации, при которой останавливается поток. 1 — 15% стеарата лития в брейтстоке селективной очистки, 2 — жировой солидол, 3 — синтетический солидол, 4 — 10% стеарата лития в маловязком масле, 5 — 5% нафтената алюминия в маловязком (при борном) нефтяном масле, 6 — 10% нафтената алюминия в том же масле

В настоящей работе впервые описан основанный на измерении тепловых деления при остановке потока аномально вязких систем прямой метод определения энергий структурообразования и разрушения структуры в системах, характеризующихся достаточно высокими временами релаксаций. Так как показано, что процессы разрушения и самопроизвольного восстановления структуры связаны с заметными тепловыми эффектами, то предложенное Фрейндлихом и ставшее классическим определение понятия тиксотропии не является строгим.

Авторы выражают благодарность акад. В. А. Каргину за обсуждение работы и ценные советы.

Институт нефтехимического синтеза
Академии наук СССР

Поступило
17 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. В. Виноградов, В. П. Павлов, ДАН, 53, 1391 (1947). ² Г. В. Виноградов, В. П. Павлов, Сборн. Низкотемпературные свойства нефтепродуктов 1949, стр. 61. ³ В. П. Павлов, Сборн. Аннотации работ по химии и технологии нефти и газа за 1956 г., Институт нефти АН СССР, 1957, стр. 69.

ТЗА ЧЮАН-СИНЬ и З. А. ИОФА

О СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТИОНОВ И ГАЛОИДНЫХ АНИОНОВ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА НА РТУТНОМ ЭЛЕКТРОДЕ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 8 XII 1958)

Перенапряжение при выделении водорода на ртутном катоде зависит от природы и от концентрации присутствующих в растворе поверхностно-активных веществ, так как адсорбция этих веществ на границе электрод — раствор меняет структуру двойного электрического слоя, в котором протекает элементарный акт разряда ионов водорода.

А. Н. Фрумкин⁽¹⁾, учитывая влияние структуры двойного слоя на поверхностную концентрацию разряжающихся ионов и энергию активации реакции разряда, вывел следующее уравнение для перенапряжения выделения водорода в кислых растворах:

$$\eta = \frac{RT}{\alpha F} \ln i - \frac{1-\alpha}{\alpha} \frac{RT}{F} \ln [H_3O^+] + \frac{1-\alpha}{\alpha} \phi_1 + \text{const}, \quad (1)$$

в котором ϕ_1 — среднее значение потенциала на расстоянии одного ионного радиуса от поверхности электрода.

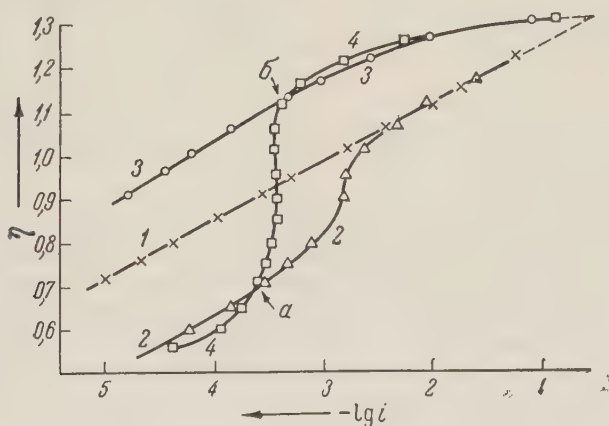


Рис. 1. Кривые перенапряжения в растворах 1 — 2N HCl + 2N KCl; 2 — 2N HCl + 2N KJ; 3 — 2N HCl + 2N KCl + $4,5 \cdot 10^{-4}$ мол/л $N(C_4H_9)_4Br$; 4 — 2N HCl + 2N KJ + $4,5 \cdot 10^{-4}$ мол/л $N(C_4H_9)_4Br$

Действие различных поверхностно-активных ионов отличается тем, что, во-первых, адсорбция их по-разному зависит от потенциала электрода и, во-вторых, при адсорбции они вызывают различное по величине и знаку изменение ϕ_1 -потенциала. Галоидные ионы адсорбируются преимущественно на незаряженной или положительно заряженной поверхности электрода, смещают ϕ_1 -потенциал в сторону отрицательных значений и, в соответствии с уравнением (1), снижают водородное перенапряжение.

Катионы тетраалкиламмониевых оснований смещают ψ_1 -потенциал сторону положительных значений и увеличивают водородное перенапряжение⁽²⁾.

Настоящая работа была предпринята с целью выяснения механизма совместного действия органических катионов и галоидных анионов. На практике мы часто встречаемся с такими сложными системами, поэтому интересно было исследовать, сохраняются ли эффекты действия отдельных ионов на кинетику электрохимического восстановления ионов водорода при совместном присутствии указанных ионов в растворе.

На рис. 1 приведены кривые $\eta_i - \lg i$, полученные на капельном ртутном электроде по методике, описанной в работе⁽³⁾. Поляризация электрода осуществлялась при условии постоянства потенциала ($\varphi = \text{const}$) за время жизни капли; в этом случае истинная плотность тока*

$$i = \frac{5}{3} \frac{\bar{I}}{S_2}, \quad (2)$$

где \bar{I} — среднее значение силы тока, измеряемое хорошо демпфированным зеркальным гальванометром; S_2 — максимальная площадь капли, вычисленная по формуле $S_2 = 0,850 (\tau_k m)^{2/3} \text{ см}^2$ (τ_k — период капания, m — скорость вытекания ртути). Опыты проводились при температуре $20 \pm 1^\circ$. Электродом сравнения служил равновесный водородный электрод $2N \text{ HCl} + 2N \text{ KCl}$.

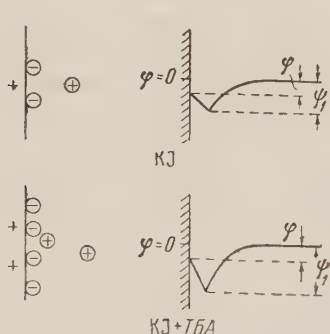


Рис. 2. Схема структуры двойного электрического слоя при $\varphi_r = -0,6 \text{ в}$

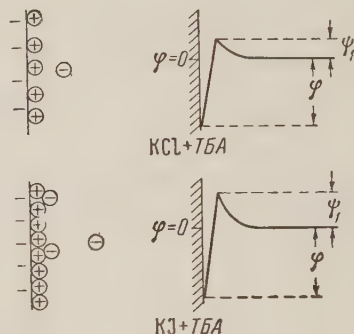


Рис. 3. Схема структуры двойного электрического слоя при $\varphi_r = -1,2 \text{ в}$

Из кривой 1 рис. 1 видно, что в той области потенциалов, в которой имеет место возможность производить измерение водородного перенапряжения на капельном ртутном электроде, адсорбция Cl^- -ионов мала и действие их на перенапряжение не обнаруживается. Добавление катионов $\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4^+$ приводит к существенному повышению перенапряжения (кривая 3). Ионы йода, которые сильно адсорбируются в значительной области потенциалов при малых плотностях тока, снижают перенапряжение (кривая 2). Добавление катионов $\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4^+$ приводит в этом случае к некоторому дополнительному снижению перенапряжения в области малых значений перенапряжения (ср. кривую 2 с кривой 4). При повышении плотности тока перенапряжение резко возрастает и достигает большего значения, чем в случае раствора

* Условие $\varphi = \text{const}$ осуществлялось при минимальном сопротивлении в поляризационной цепи. В этом случае, согласно формуле Тафеля, $i = \text{const}$, сила же тока I изменяется по мере роста капли соответственно изменению ее площади. Так как $I_2 = iS_2$ (где I_2 и S_2 — сила тока и площадь капли, соответствующие τ_k , — времени отрыва капли), то

$$S = S_2 t^{3/5} \tau_k^{-2/5}, \quad I = i S_2 t^{2/5} \tau_k^{-2/5}, \quad \text{среднее значение силы тока } \bar{I} = \frac{1}{\tau_k} \int_0^{\tau_k} I_2 t^{1/5} \tau_k^{-1/5} dt = \frac{3}{5} i S_2$$

$$= \frac{3}{5} i S_2.$$

$2N HCl + 2N KCl + N(C_4H_9)_4^+$. При дальнейшем увеличении плотности тока эффект повышения перенапряжения исчезает и кривая $\eta - \lg i$ сходится с кривой растворов, не содержащих органических катионов (кривая 4). Исчезновение действия органических катионов в области сильно отрицательных потенциалов было описано ранее (4).

Очевидно, участок пониженных значений η в области малых поляризаций соответствует преимущественной адсорбции анионов йода; участок повышенных значений η — преимущественной адсорбции органических катионов и, наконец, уменьшение эффекта, вызываемого адсорбцией катионов при повышении поляризации, отвечает десорбции этих катионов.

Наблюдаемый эффект взаимного усиления действия адсорбированных ионов можно объяснить тем, что на перезаряженной поверхности электрода происходит «вторичная адсорбция» поверхностно-активных ионов, имеющих заряд обратного знака. Вторичная адсорбция усиливает адсорбцию тех ионов, которые преимущественно адсорбируются в данной области потенциалов, и, таким образом, вызывает более сильное изменение ψ_1 -потенциала (см. схемы рис. 2 и 3).

Такая картина совместного действия ионов подтверждается результатами измерения дифференциальной емкости двойного электрического слоя в тех же растворах на капельном ртутном электроде. Использованная для этих измерений схема импедансного моста в принципе не отличалась от схем, описанных в работах (5-7). Время, которое протекало с момента отрыва предыдущей капли до осуществления баланса моста, точно определялось электронным реле и электрическим секундомером.

Как видно из рис. 4, на котором приведены кривые зависимости дифференциальной емкости от потенциала электрода (φ_r), при потенциалах положительнее $-0,63$ в, кривая 4, полученная для раствора, содержащего катионы тетрасоли, идет выше, чем в случае раствора $HCl + KJ$ без тетрасоли (кривая 2). Это означает, что поверхностный заряд электрода при $\varphi_r > -0,63$ в сильнее повышается с ростом потенциала под влиянием катионов тетрасоли. Очевидно, что если бы при малых поляризациях на структуру двойного слоя влияли только анионы, то левые части кривых 2 и 4 должны были бы совпадать.

Аналогично действуют анионы йода при высоких поляризациях. Из сравнения кривых 3 и 4 видно, что при потенциалах более отрицательных чем $-1,13$ в, адсорбция катионов тетрасоли в присутствии ионов йода приводит к более быстрому снижению емкости с ростом потенциала, а десорбция органического катиона начинается при более отрицательных значениях потенциала.

Интересно отметить, что потенциалы точек пересечения кривых 2 и 4 и кривых 3 и 4 (точки a' и b' на рис. 4) почти совпадают с потенциалами точек пересечения соответствующих поляризационных кривых (точки a и b на рис. 1). Совпадение это, по-видимому, в первом приближении может

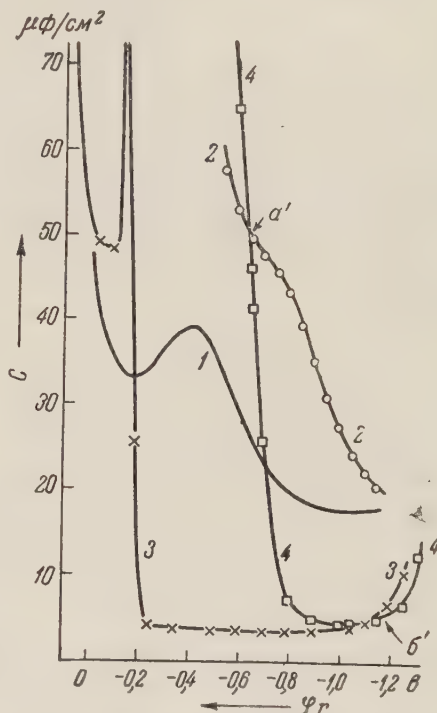


Рис. 4. Кривые дифференциальной емкости в зависимости от потенциала. Обозначения растворов те же, что на рис. 1. Кривые 1 и 2 сняты при частоте 400 гц, кривые 3 и 4 при частоте 5000 гц

служить подтверждением изложенных соображений о взаимном усилении адсорбции ионов, хотя правильнее было бы сравнивать положение точек a и b пересечения кривых $\eta - \lg i$ с положением точек пересечения кривых, выражающих зависимость от потенциала не дифференциальной емкости, а заряда электрода.

Выражаем благодарность акад. А. Н. Фрумкину за внимание и советы при выполнении настоящей работы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
1 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Фрумкин, Zs. Phys. Chem., A **164**, 121 (1933). ² З. Иофа, Б. Кабанов, Е. Кучинский, Ф. Чистяков, ЖФХ, **13**, 1105 (1939). ³ З. А. Иофа, А. И. Колычев, ЖФХ, **14**, 58 (1940); Acta physicochim. URSS, **12**, 231 (1940). ⁴ Е. П. Андреева, ЖФХ, **29**, 699 (1955); З. А. Иофа, Е. П. Андреева, Н. В. Николаева, Тр. совещ. по электрохим., Изд. АН СССР, 1953, стр. 294. ⁵ D. C. Grahame, J. Am. Chem. Soc., **68**, 30 (1946); **71**, 2976 (1949). ⁶ В. И. Мелик-Гайказян, ЖФХ, **26**, 560 (1952). ⁷ Б. Б. Дамаскин, ЖФХ, **32**, 2199 (1958).

ЦУ ЮН-ЦАО и МИ ТИЕН-ИН

МЕХАНИЗМ АНОДНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ИОНА ПЕРСУЛЬФАТА

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 7 I 1959)

С тех пор как Бертло (1878 г.) открыл надсерную кислоту, существовало два представления о механизме ее анодного образования: теория «активного кислорода» (OH , O , H_2O_2) и теория прямого разряда^(1,2), однако ни та, ни другая теория не были подтверждены достаточными экспериментальными данными. А. Н. Фрумкин с сотр.⁽³⁾ показали, применяя индикатор O^{18} , что при электролизе кислород воды не входит в состав образующегося иона $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$. Это делает наиболее вероятным образование $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ через разряд иона SO_4^{2-} . Вместе с тем авторы указали, что и другие представления, хотя и менее вероятные, также совместимы с данными, полученными методом меченых атомов. Так например, можно предположить, что первичным продуктом электродной реакции является радикал OH , который окисляет SO_4^{2-} путем электронного перехода без передачи кислорода. Исходя из зависимости выхода надсерной кислоты по току от концентрации ионов HSO_4^- , Е. А. Ефимов и И. А. Изгарышев⁽⁴⁾ предположили, что образование надсерной кислоты происходит вследствие прямого разряда HSO_4^- .

Для того чтобы окончательно выяснить механизм анодного образования иона персульфата, необходимо было получить непосредственные данные о кинетике этого процесса и определить ее отношение к кинетике выделения кислорода*. Для этого нужно было из общей плотности анодного тока i_t выделить плотности тока i_1 и i_{11} , относящиеся соответственно к процессам образования O_2 и $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, т. е. построить частные поляризационные кривые этих процессов. Выделение O_2 на Pt-электроде является неустойчивым процессом, сильно зависящим от адсорбированных на электроде кислорода и анионов. Поэтому необходимо было определить возможную стабильную поляризационную кривую этого процесса⁽⁵⁾.

Электролиз производился в ячейке, разделенной стеклянной диафрагмой, снабженной стеклянными шлифами. Анод представлял собой гладкую платиновую проволоку диаметром 1 мм с поверхностью около 1 см². Под анодом находилась магнитная мешалка, обеспечивавшая энергичное размешивание. Анодная часть ячейки была снабжена горизонтальной стеклянной трубкой со шкалой, в трубку вводилась мыльная пленочка. По движению последней можно было определить скорость выделения** O_2 , что позволяло вычислить выход $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ по току. Электродом сравнения служил сернокислотный закиснортутный; потенциалы пересчитывались на нормальный водородный электрод. Опыты производились при температуре 7°.

* Когда настоящая работа была уже подготовлена к печати, мы получили возможность ознакомиться с находившейся в печати работой⁽⁸⁾, в которой также рассматриваются совместные реакции образования $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ и O_2 . Мы надеемся произвести сопоставление выводов этой работы с нашими в последующем сообщении.

** В условиях опыта озон образовывался лишь в незначительных количествах и в первом приближении образование его можно было не учитывать.

До измерения электрод предварительно подвергался сильной анодной поляризации, после чего измерения производились начиная с малых плотностей тока (10^{-5} или 10^{-4} а/см²). Измерялись устойчивые значения электродного потенциала; измерения производились после каждого изменения плотности тока, когда изменение потенциала за 30 мин. не превышало 3 мв.

На рис. 1 * представлены поляризационные кривые, полученные в растворе $3,5N (NH_4)_2SO_4 + 3,5N H_2SO_4$. Суммарная кривая 1 (особенно резкий подъем потенциала на ней при значительных плотностях тока) имеет вид, аналогичный виду кривой, полученной другими авторами (6).

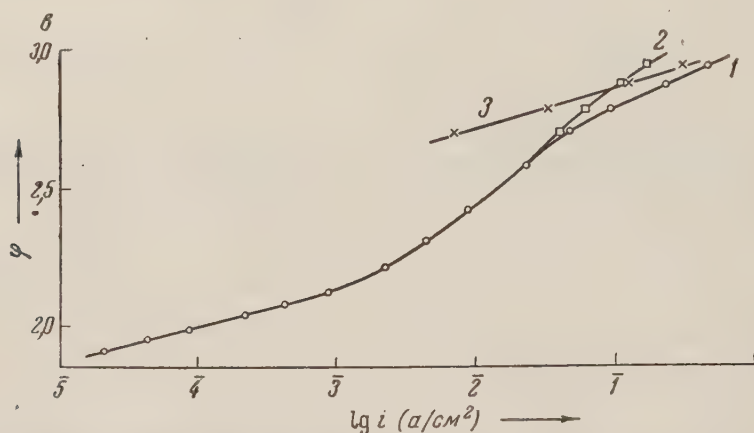


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые растворов $3,5N (NH_4)_2SO_4 + 3,5N H_2SO_4$. 1 — суммарная поляризационная кривая, 2 — частная поляризационная кривая выделения O_2 ; 3 — частная поляризационная кривая образования $S_2O_8^{2-}$

Кривая 2 в широком интервале плотностей тока является прямой. Из рис. 1 видно, что в области малых плотностей тока скорость образования иона $S_2O_8^{2-}$ намного меньше, чем скорость выделения O_2 . При повышении плотности тока на поверхности платины возникает прочная окисная пленка, в состав которой входят и анионы кислоты (5,6). Образование этой пленки, видимо, вызывает понижение энергии адсорбции радикала OH (или атома O) и приводит поэтому к резкому замедлению выделения O_2 . В результате потенциал выделения O_2 повышается до такого значения, при котором возможно образование $S_2O_8^{2-}$. В точке пересечения кривых 2 и 3 скорость образования $S_2O_8^{2-}$ равна скорости выделения O_2 . При более положительных потенциалах скорость образования $S_2O_8^{2-}$ делается больше, чем скорость образования O_2 , и выход $S_2O_8^{2-}$ по току превышает 50%.

На рис. 2 показано действие добавки NH_4F . Из рис. 2 следует, что адсорбция ионов F^- приводит к заметному повышению перенапряжения выделения O_2 , особенно в области резкого подъема потенциала. Как видно из кривой 4, в пределах ошибок опыта точки, полученные в растворах, не содержащих ионов F^- или содержащих различные количества F^- , лежат на одной прямой. Таким образом, адсорбция F^- , резко замедляя выделение O_2 , не влияет на кинетику анодного образования $S_2O_8^{2-}$. Этот факт делает понятным влияние ионов F^- на выход по току при образовании $S_2O_8^{2-}$.

Действие ионов SCN^- и Cl^- аналогично действию F^- , т. е. они вызывают повышение перенапряжения O_2 , но практически не влияют на кинетику.

* Приведенные данные являются частью материала, который будет опубликован в 1958—1959 гг. в Ученых записках Академии наук Китайской Народной Республики.

ику анодного образования $S_2O_8^{2-}$. Однако в области малых плотностей тока, вследствие окисления SCN^- и Cl^- , наблюдается предельный ток диффузии этих ионов.

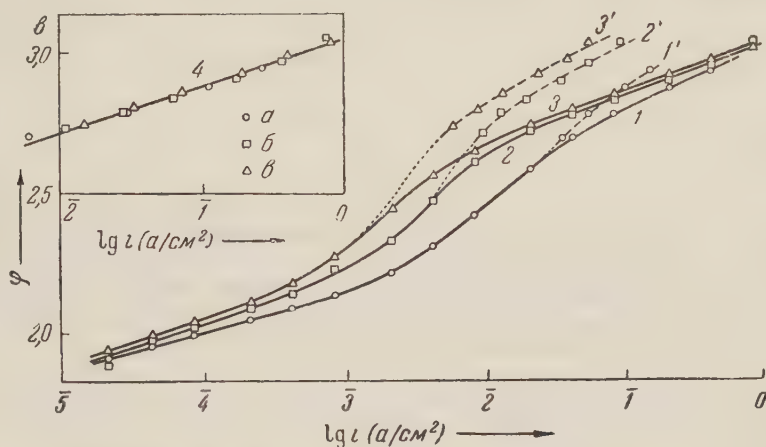


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые растворов $3,5N (NH_4)_2SO_4 + 3,5 N H_2SO_4 + NH_4F$. Сплошные кривые 1, 2, 3 — суммарные поляризационные кривые; пунктирные кривые 1', 2', 3' — частные поляризационные кривые выделения O_2 . Концентрация NH_4F : 1 и 1' — 0; 2 и 2' — $3 \cdot 10^{-4} N$; 3 и 3' — $10^{-3} N$. 4 — частная поляризационная кривая образования $S_2O_8^{2-}$; концентрация NH_4F : а — 0; б — $3 \cdot 10^{-4} N$; в — $10^{-3} N$

Указанные факты убедительно подтверждают предположение о прямом образовании $S_2O_8^{2-}$, так как если бы разряд молекулы воды являлся промежуточной стадией образования $S_2O_8^{2-}$ (теория «активного кислорода»),

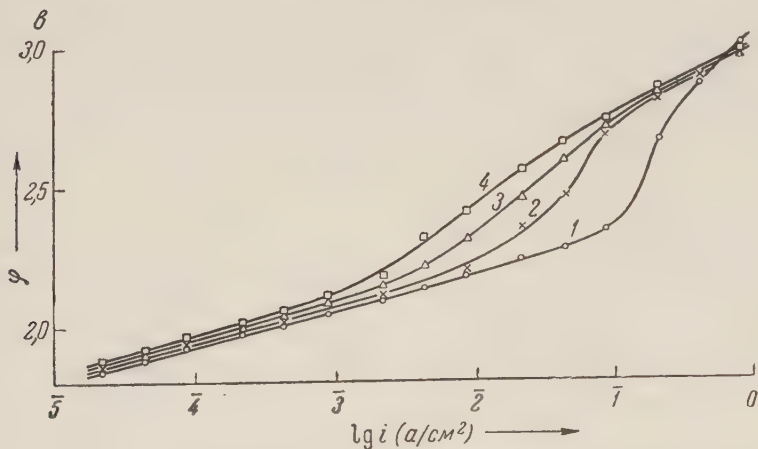
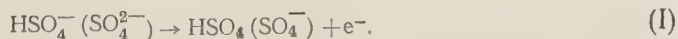


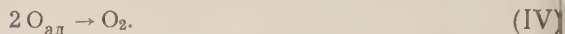
Рис. 3. Анодные поляризационные кривые растворов $H_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4$. Общая концентрация электролита $7 N$. Концентрация $(NH_4)_2SO_4$: 1 — 0; 2 — $0,5 N$; 3 — $3,5 N$; 4 — $5 N$

то при затруднении первого процесса должна была наблюдаться и задержка второго.

Кинетические расчеты процесса подтвердили правильность этого вывода и показали, что прямой разряд иона серной кислоты является решающей стадией процесса анодного образования $S_2O_8^{2-}$:



Рассмотрение кинетических уравнений показало также, что при большой плотности тока выделение O_2 может частично происходить не путем разряда молекулы воды, а через промежуточный разряд HSO_4^- (SO_4^{2-}), например:



На рис. 3* показано, как влияет на суммарную поляризационную кривую процесса добавка иона аммония. Как видно, добавка иона аммония резко повышает потенциал, особенно в области резкого подъема кривой. Механизм действия катионов требует дальнейшего исследования. Согласно Фрумкину, влияние катионов может обуславливаться их действием на окисняющую пленку на поверхности платины⁽⁷⁾.

Авторы выражают сердечную благодарность акад. А. Н. Фрумкину за ценные советы и проф. Б. Н. Кабанову за просмотр рукописи.

Институт прикладной химии
Академии наук Китайской Народной Республики
Чанчунь

Поступило
1 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. Glasstone, A. Hickling, *Electrolytic Oxidation and Reduction*, 1936.
- ² W. Machu, *Das Wasserstoffperoxyd u. die Perverbindungen*, 1951. ³ А. Н. Фрумкин, Р. И. Каганович, М. А. Герович, В. Н. Васильев, ДАН, **102**, 98 (1955). ⁴ Е. А. Ефимов, И. А. Изгарышев, ДАН, **106**, 1039 (1956). ⁵ Ц. Юн-цао, Сю Цын-иенидр., Уч. зап. АН КНР (Science Record) (1958). ⁶ Р. И. Каганович, М. А. Герович, Э. Х. Еникеев, ДАН, **108**, 107 (1956); М. А. Герович, Р. И. Каганович, В. М. Вергелесов, А. Н. Горохов, ДАН, **114**, 1049 (1957); Р. И. Каганович, М. А. Герович, ЖФХ, **32**, 957 (1958).
- ⁷ А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Иофа, Б. Н. Кабанов, *Кинетика электродных процессов*, 1952. ⁸ А. А. Раков, В. И. Веселовский, К. И. Носова, Э. В. Касаткин, Т. И. Борисова, ЖФХ, **32**, № 12 (1958).

* Этот рисунок заимствован из работы Ло Сю-цин и Чжоу Шо-у (не опубликовано).

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

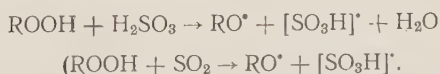
Б. Е. КУЦЕНОК, М. Н. КУЛАКОВА, Е. И. ТИНЯКОВА
и член-корреспондент АН СССР Б. А. ДОЛГОПОСКОК

ИНИЦИИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ЭМУЛЬСИЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОПЕРЕКИСИ ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА И SO₂

Реакция между гидроперекисью изопропилбензола и SO₂ в углеводородных средах, как было показано ранее, протекает с очень большой скоростью и приводит к структурированию ненасыщенных полимеров ⁽¹⁾, или, при проведении ее в растворе стирола в условиях избытка SO₂, к образованию полисульфона ⁽²⁾. Эти факты заставляют предположить, что система из гидроперекиси и SO₂, аналогично многим известным окислительно-восстановительным системам, действует через промежуточную стадию свободных радикалов. Настоящее исследование посвящено изучению механизма действия этой системы и выяснению возможности ее использования для инициирования полимеризации мономеров в водной эмульсии в кислых средах при низкой температуре.

Изучение состава продуктов взаимодействия гидроперекиси изопропилбензола с SO₂. При изучении кинетики взаимодействия гидроперекиси с SO₂ в водной эмульсии октана было установлено, что процесс протекает мгновенно при температурах от 0 до —70°. При этом SO₂ и гидроперекись расходуются в эквимолекулярных соотношениях (см. табл. 1).

При проведении реакции в присутствии α-пентена или α-метилстирола, которые, как известно, легко присоединяют свободные радикалы ^(3,4), в продуктах взаимодействия установлено наличие сульфокислот (см. табл. 2). Это свидетельствует о том, что одним из промежуточных продуктов реакции является радикал [SO₃H]•, который может образоваться, например, в результате бимолекулярной реакции:



Образование серной кислоты как конечного продукта окисления может быть обусловлено реакцией диспропорционирования радикалов:



В отсутствие акцепторов свободных радикалов реакция гладко идет в сторону образования серной кислоты и карбинола.

Таблица 1

Взаимодействие гидроперекиси изопропилбензола (ROOH) с SO₂ в водной эмульсии октана в кислой среде (pH 4)

Т-ра, °C	Введено в исходную смесь, ммол		Найдено в реакционной смеси (через 3—4 мин. после смешения), ммол	
	ROOH	SO ₂	ROOH	SO ₂
0	0,604	0,604	0	0
—25	0,593	0,593	0	0
—50	0,573	1,350	0	0,773
—75	0,583	1,271	0	0,683

Таблица 2

Состав продуктов взаимодействия гидроперекиси изопропилбензола (ROOH) с SO_2 в модельных условиях. Гидроперекись в растворе олефина и 0,2 N водный раствор SO_2 вводились постепенно в течение 5 часов. Температура 1–2°

№№ опытов	Углеводород	Введено в реакцию, ммол		Найдено, % от теории		Потери SO_2 , %
		ROOH	SO_2	RSO_2H	H_2SO_4	
1	α -пентен	66,0	66,0	20,3	68,5	11,2
2*	α -пентен	66,0	202,0	31,6	68,4	0
3	α -пентен	61,0	61,0	29,1	65,7	5,2
4	α -метилстирол	66,0	66,0	20,6	72,1	7,3
5	α -метилстирол	66,0	66,0	19,8	72,2	8,0

* В опыте № 2 SO_2 введено сразу в начале процесса в 3-кратном количестве. По окончании реакции обнаружено 136 ммол. непрореагировавшего SO_2 .

Иницирование полимеризации под влиянием гидроперекиси и SO_2 . Первые попытки использования реак-

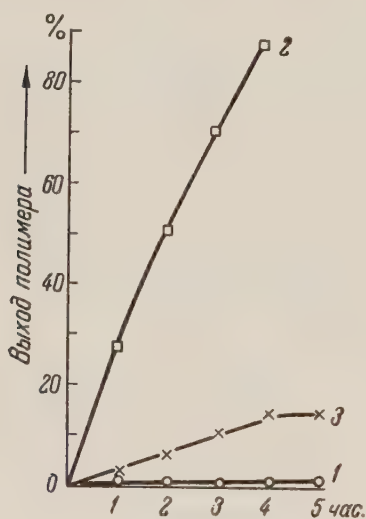


Рис. 1

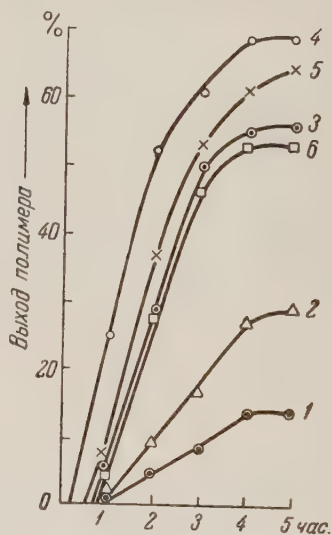


Рис. 2

Рис. 1. Влияние способа введения компонентов окислительно-восстановительной системы на процесс полимеризации стирола в эмульсии при температуре 0°, pH 4. Гидроперекись 0,6% к весу стирола, эквивалентное количеству 0,1 N раствора SO_2 . 1 — гидроперекись и SO_2 введены одновременно в начале процесса; 2 — гидроперекись и SO_2 вводятся постепенно в течение 4 час.; 3 — гидроперекись введена в начале процесса, SO_2 вводится постепенно в течение 4 час.

Рис. 2. Влияние концентраций гидроперекиси изопропилбензола (ROOH) и SO_2 на процесс полимеризации стирола в водной эмульсии, при 0° и pH 4. Гидроперекись введена в начале процесса, эквивалентное количество раствора SO_2 вводится в течение 4 час. Содержание (ROOH) в % к весу стирола и концентрация раствора SO_2 соответственно: 1—0,6%, 0,1 N; 2—0,3%, 0,05 N; 3—0,1%, 0,02 N; 4—0,05%, 0,01 N; 5—0,025%, 0,005 N; 6—0,010%, 0,002 N

ции взаимодействия гидроперекиси с SO_2 для иницирования полимеризации мономеров в водных эмульсиях и в гомогенной среде не дали положи-

тельных результатов, что, по-видимому, находится в связи с очень большой скоростью взаимодействия компонентов системы. Это приводит к высокой концентрации активных центров в начале процесса, к коротким реакционным цепям и обрыву полимеризации.

Подобного рода факты были хорошо известны для многих других систем, для которых доказано наличие промежуточных радикальных стадий. Такие системы, как было показано на ряде примеров, можно использовать для инициирования полимеризации лишь регулируя различными путями скорость взаимодействия компонентов системы. В частности, в системах из гидроперекисей и закисных солей железа это достигается путем применения малорастворимых комплексов или солей железа (пирофосфатные комплексы, силикаты, сульфиды железа и т. д.) (^{5, 6}).

В настоящей работе показано, что система из гидроперекиси и SO_2 может быть использована для проведения полимеризации стирола в эмульсии при 0° при условии постепенного дозирования компонентов.

На рис. 1 приведены данные, характеризующие выход полимера при полимеризации стирола в эмульсии в присутствии 0,6% гидроперекиси изопропилбензола (к весу стирола) и эквивалентного количества 0,1 N раствора SO_2 в зависимости от порядка введения компонентов. Из этих данных следует, что при введении гидроперекиси и SO_2 сразу (в начале реакции) процесс полимеризации не протекает (кривая 1); с наибольшей скоростью процесс протекает при постепенном дозировании обоих компонентов

окислительно-восстановительной системы. В этом случае выход полимера при температуре 0° за 4 часа достигает 87% (кривая 2). При проведении процесса в условиях введения всей гидроперекиси и постепенного дозирования SO_2^* полимеризация протекает со значительно меньшей скоростью — выход полимера за то же время составил 14% (кривая 3). Из данных рис. 2, где приведены кинетические кривые полимеризации стирола в присутствии различных количеств гидроперекиси (0,01 — 0,6% к весу стирола) и эквивалентных количеств 0,05 — 0,1 N раствора SO_2 в условиях введения гидроперекиси в начале реакции и постепенного дозирования SO_2 , следует, что кинетика полимеризации сильно зависит от концентрации компонентов системы.

В случае 1 и 2 (рис. 2), т. е. когда концентрация гидроперекиси в стироле равна 0,3% и выше, процесс при 0° практически останавливается при сравнительно низкой глубине полимеризации. Этому моменту соответствует полное израсходование гидроперекиси и SO_2 . Однако интересно отметить, что при повышении температуры до 30° в этих случаях снова возобновляется процесс полимеризации (рис. 3). Приведенные факты указывают, что в определенных условиях при реакции гидроперекиси с SO_2 образуется какое-то новое промежуточное соединение, которое способно иницировать полимеризацию при более высоких температурах.

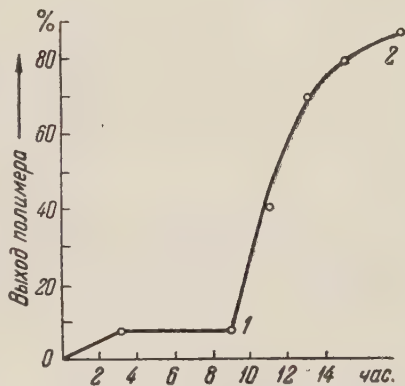


Рис. 3. Влияние температуры на полимеризацию стирола в эмульсии при pH 4 после полного израсходования гидроперекиси и SO_2 (гидроперекись 0,6% введена в начале процесса, эквивалентное количество 0,2N раствора SO_2 подавалось в течение 4 час.) 1 — температура 0° , 2 — температура поднята до 30°

* В этих условиях взаимодействие компонентов, особенно в начальные промежутки времени, протекает в условиях избытка гидроперекиси.

Процесс полимеризации и изучение реакции взаимодействия гидроперекиси с SO_2 в модельных условиях проводились в кислой среде при начальном значении рН 4, температуре 0° и соотношении фаз углеводородная : водная 1 : 1 (по весу). В качестве эмульгатора применялся дибутилнафталин сульфокислый натрий (4% к весу углеводородной фазы). Гидроперекись вводилась в количестве 0,01—0,6% (к весу углеводородов). SO_2 применялось в виде водного раствора (0,01 — 0,2 N) в эквивалентных по отношению к гидроперекиси количествах. Загрузка компонентов проводилась в атмосфере азота.

Гидроперекись изопропилбензола определялась йодометрически после определения SO_2 . При изучении взаимодействия гидроперекиси с SO_2 при низких температурах для определения непрореагировавшего SO_2 к реакционной смеси прибавлялся охлажденный до температуры реакции избыток воднометанольного раствора йода, который затем оттитровывался гипосульфитом.

Сульфокислоты и серная кислота определялись в виде бариевых солей (^{7,8}). В связи с легкой омыляемостью алкилсульфокислот до серной кислоты даже при небольшом избытке щелочи, осаждение их из реакционной смеси проводилось нейтрализацией водным раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (по фенолфталеину).

Научно-исследовательский институт
синтетического каучука
им. С. В. Лебедева

Поступило
5 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. И. Тинякова, Б. А. Долгоплоск, В. Н. Рейх, Изв. АН СССР ОХН, 1957, № 8, 1111.
- ² Е. И. Тинякова, Б. А. Долгоплоск, Т. Ю. Зелькина, Журн. общ. хим., 29, № 6 (1959).
- ³ Е. Б. Миловская, Б. А. Долгоплоск, Б. Л. Ерусалимский, Изв. АН СССР, ОХН, 1957, № 4, 494.
- ⁴ Е. И. Тинякова, Е. К. Хренникова, Б. А. Долгоплоск, Журн. общ. хим., 28, № 6, 1632 (1958).
- ⁵ C. F. Fryling, S. H. Landes, W. M. John, C. A. Uraneck, Ind. and Eng. Chem., 41, № 5, 986 (1949).
- ⁶ V. C. Neklutin, C. B. Westerhoff, L. H. Houwland, Ind. and Eng. Chem., 43, № 5, 1246 (1951).
- ⁷ P. H. Latimer, R. W. Bost, J. Org. Chem., 5, 24 (1940).
- ⁸ P. H. Latimer, R. W. Bost, J. Am. Chem. Soc., 59, 2500 (1937).

Е. Е. СЫРОЕЧКОВСКИЙ

ОПЫТ БИОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СУШИ АНТАРКТИКИ

(НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕКТОРА ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ)

(Представлено академиком А. А. Григорьевым 22 XII 1958)

Материалы для настоящей статьи были собраны в Антарктиде в январе — апреле 1957 г. В течение этого времени в биогеографическом отношении было обследовано побережье и некоторые внутренние районы континента в пределах Земли королевы Мэри, Земли кайзера Вильгельма II и западной части берега Нокса.

В своей работе мы исходили из того, что биогеографическое изучение тех или иных участков земной поверхности должно быть основано на географии биоценозов. Иными словами, в основу районирования должно быть положено сходство и различие биоценозов, и в первую очередь основных процессов, происходящих в них (основных связей) и определяющих главное направление течения биологического круговорота веществ на определенном участке суши или вод. В связи с этим первоочередной задачей должно быть выявление основных черт структуры и специфики биологических комплексов. Последующее выявление тенденций изменений этой структуры позволит установить характер перехода к другим биологическим комплексам, к другой биогеографической сущности, представляющей собою нечто самостоятельное и закономерно сменяющее предыдущий комплекс. Без выявления этого перехода (установление характера биогеографической границы) невозможно понять сущность и пространственную ограниченность отдельных биокомплексов*.

В этом отношении особенно удобны для исследователя участки суши, лежащие в наиболее суровых приполярных областях земного шара, имеющие обедненные биологические комплексы, и в частности — антарктический континент.

Биологические комплексы суши Антарктики характеризуются тремя следующими главными особенностями.

Крайняя обедненность биокомплексов — первая характерная черта биоценозов Антарктиды. Вследствие особой ледовитости материка и сурового термического режима воздуха и субстрата в Антарктиде практически не могут обитать наземные пойкилотермные животные (сухопутные беспозвоночные, амфибии, рептилии), а также и относительно малоподвижные теплокровные сухопутные животные, не связанные с морем (наземные млекопитающие). Основу наземной фауны составляют только птицы, способные к миграции в воздушной или водной среде. Количество видов птиц здесь ничтожно (14—15, из которых гнездится только 11).

Суровый термический режим в сочетании с низкой влажностью воздуха при высокой скорости и частоте повторяемости ветров, наличие маломощно-

* Понимание в таком плане сущности и некоторых задач биогеографической науки как частной географической дисциплины, по нашему мнению, в общей форме соответствует взглядам А. А. Григорьева (1¹) и др.) об общих закономерностях физико-географической среды.

го и непостоянного снежного покрова создают неблагоприятные условия для развития сухопутной растительности в Антарктиде. Практически здесь обитают только споровые растения: водоросли, лишайники, мхи и микроскопические грибы. В связи с отсутствием на суше высших растений утилизация солнечной энергии в Антарктической приполярной области происходит в основном в море, за счет фотосинтеза фитопланктона.

Вторая характерная особенность обедненных биологических комплексов Антарктиды, существующих в сугубо экстремных условиях, — простота и четкость биоценологических связей. Например, состав пищи антарктических животных крайне однообразен. Анализ содержимого пищеварительных трактов добытых нами 170 экземпляров птиц показал, что их морская пища по крайней мере на 90% состоит из планктических рачков из рода *Euphausia*. Редко в желудках птиц встречаются остатки рыб, головоногих моллюсков и некоторых ракообразных. Южнополярные поморники, обитающие в оазисе Бангера, — практически монофаги. Среди остатков пищи, собранных у гнезд этих птиц, мы находили части тушек и скелетов сотен снежных буревестников и только единицы остатков головоногих моллюсков. Этот же вид поморника даже в условиях Арктики имеет трофические связи с десятками видов организмов.

Интересна своеобразная цепь простых зависимостей между организмами ведущая к освоению глубинных участков материка позвоночными животными. Схема такова: снежные буревестники, добывающие корм непосредственно в море, селятся неподалеку от него — в радиусе кормового полета птицы; южнополярные поморники, питающиеся снежными буревестниками, могут селиться дальше от моря, в радиусе кормового полета от своего гнезда до ближайших охотничьих мест — гнездовий снежных буревестников.

Жизнь в Антарктиде сосредоточена в основном на периферии материка, и третья, и наиболее характерная, черта прибрежных биоценозов Антарктиды — зависимость организмов суши от жизнедеятельности моря. Эта закономерность, свойственная приполярным странам вообще, неоднократно была отмечена рядом авторов (², ³).

Из числа позвоночных животных — обитателей побережий с полным правом можно назвать морскими всех антарктических тюленей и императорских пингвинов. Они практически никогда не выходят на сушу и лишь в некоторые периоды жизни обитают на морских льдах. Остальные птицы, гнездящиеся на скалах, всецело связаны с морем трофически. В море, богатым органическими веществами, лежат все первые звенья пищевых цепей высших животных Антарктиды. Схема такова: солнечная энергия — фитопланктон — зоопланктон (пища высших животных). Большинство птиц (пингины, буревестники, качурки) добывают пищу непосредственно в море. Только поморники — единственные хищники на суше в Антарктиде — нередко нападают на взрослых птиц, поедают их птенцов и яйца.

Растительность на скалах, населенных птицами, также в значительной мере зависит от моря. По самым скромным подсчетам, только пингины Адели выносят на 1 км² поверхности скал на о. Хасуэлл в виде пищи ежедневно 9000—10000 кг морских организмов. Значительная часть веществ, из которых состоят эти организмы, выбрасывается пингвинами наружу в виде помета и обогащает азотистыми соединениями поверхность скал, где обильно развивается копрофильная растительность (водоросль *Prasiola crista* и некоторые другие). Своеобразно в связи с этим идет и формирование как бы итогового звена биоцикла — почвенного покрова, который развивается здесь в зачаточном виде.

В свете приведенных примеров особенно четко видна роль массовых видов в биогеографическом процессе. Только один фотонный вид — пингвин Адели (среди 20 тыс. экземпляров пернатых на о. Хасуэлл их около 18 тыс.) — определяет основной характер связей и «морской тип» биогеографической структуры этого участка суши.

Итак, характер отдельных участков суши Антарктики и свойственных им биоценозов определяется взаимосвязями организмов с морем и зависимостями животных и растений от общих климатических и локальных географических особенностей свободных от льда территорий. Иными словами, с одной стороны, мы имеем дело в основном с трофическими связями организма, а с другой — главным образом с такими факторами, как температура, ветер, влажность, солнечная радиация, рельеф и т. п.

В пределах центрального сектора Восточной Антарктиды были выделены следующие биогеографические районы (по направлению от центра материка к периферии), названные нами «аренами жизни».



Рис. 1. Расположение различных арен жизни в районе исследований автора.
1 — море, 2 — материковые льды, 3 — шельфовые ледники, 4 — языки материковых льдов, 5 — оазисы — свободные от льда и снега участки суши, 6 — острова, не покрытые сплошным покровом льда и снега

I. Арена ледникового щита Антарктиды. Лед, отдельные горы и нунатаки в глубине материка. Постоянная жизнь только на свободных от льда участках. Обедненная растительность представлена, главным образом, примитивными формами лишайников (только на скалах), а животные — очень редкими залетными птицами (южнополярные поморники). Прямые связи с морем отсутствуют.

Сюда относятся ледниковый щит, горы Амундсена, Сандау, скалы Посещен, хр. Джонс-Ридж и др. Эта арена территориально резко преобладает над остальными, занимающими небольшие площади, но равнозначна им в биогеографическом отношении.

II. Арена начала освобождения суши от льда (арена молодых холодных пустынь). Территорий этого типа, представляющие собой каменистые холодные пустыни, обыкновенно отделены от моря материковыми льдами. Растительность здесь обеднена, но представлена тремя систематическими группами (водоросли, лишайники, мхи). Преобладают наиболее выносливые жизненные формы отдельных групп растений. Например, среди лишайников здесь обитают почти исключительно накипные формы. Мхов мало вообще. Появляются первые постоянные, но редкие обитатели из числа позвоночных животных (гнездящиеся поморники и снежные буревестники). Появляются первые прямые связи с морем у животных. Территории типа «Заснеженного Оазиса».

III. Арена прибрежных антарктических оазисов (арена холодных пустынь). Обычно территориально

имеет связь с морем или его заливами. Растительность значительно богаче по сравнению с предыдущей ареной. Наряду с лишайниками становятся обычными водоросли и мхи. Многообразнее набор жизненных форм отдельных групп растений. Например, среди лишайников одинаково обыкновенны накипные, листоватые и кустистые формы. На побережье появляются некоторые антарктические тюлени (тюлень Уэддела, тюлень крабод). Из птиц гнездятся немногочисленные поморники, снежные буревестники, вильсоновы качурки. В послегнездовое время появляются пингвины Адели и очень редко императорские пингвины. Крепнут связи животных суши с морем. Формируются первые связи растительности с морем. На субстрате, обогащенном продуктами выделения пингвинов Адели, скапливающихся в отдельных участках побережья, развиваются копрофильные водоросли из порядка *Protococcales*. Территории типа оазиса Бангера.

IV. А р е н а п р и б р е ж н ы х о с т р о в о в и л ь д о в. Резкое преобладание (в основном по биомассе) жизни животных и растений суши за счет моря. Более или менее полный набор видов позвоночных животных, свойственный континенту. Гнездящиеся птицы: пингвин Адели, императорский пингвин, снежный буревестник, серебристо-серый буревестник, капский голубок, антарктический буревестник, вильсонова качурка, южнополярный поморник. Тюлени: Уэддела, крабод, морской леопард, тюлень Росса. Биомасса высших животных суши, представленная здесь птицами, на единицу площади по меньшей мере в 10 000 раз больше, чем в предыдущей арене. Практически то же в отношении растительности. Среди растений по биомассе значительное место занимают копрофильные водоросли *Prasiola crispa*, отсутствующие в предыдущих аренах. Образуются примитивные почвы. Территории типа о. Хасуэлл и морской припай.

V. А р е н а с у б а н т а р к т и ч е с к и х о с т р о в о в. Значительное обогащение биокомплекса. Появление высших растений и связанных с ними растительноядных животных. Начало преобладания прямых трофических связей на суше за счет фотосинтеза высших растений.

Институт географии
Академии наук СССР

Поступило
12 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Г р и г о р ь е в, Субарктика, М.—Л., 1956. ² R. F a l l a, Birds of Antarctic. The Antarctic today, 1952. ³ R. M u r p h y, Oceanic birds of South America, 1936.

М. В. КУЛИКОВ

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 29 XII 1958)

Морские пермские отложения в Забайкалье известны в виде небольших изолированных выходов. Они достоверно установлены в Западном и Восточном Забайкалье, однако до последнего времени их стратиграфическое положение оставалось неясным. В 1928 г. пермские отложения были одновременно установлены Н. С. Донским ⁽¹⁾ в Западном Забайкалье, а С. А. Музылевым ⁽⁴⁾ и Ю. М. Шейнманом ⁽⁷⁾ в Восточном Забайкалье. С. А. Музылев отнес эти отложения к пермской системе, а Н. С. Донской и Ю. М. Шейнман — к нижнему карбону. Позднее Ю. М. Шейнман ⁽⁸⁾ терригенные осадки Чиронского поля отнес к нижней перми. Г. Н. Фредерикс ^(6, 7), определявший фауну Восточного Забайкалья, отнес ее к артинскому ярусу. В 1933 г. О. М. Кичигина ⁽²⁾ высказала предположение о принадлежности части верхнепалеозойского осадочного комплекса в Белектуйском районе (Восточное Забайкалье) к верхней перми. Однако в дальнейшем эта точка зрения не нашла должной оценки.

Неясность стратиграфического положения пермских отложений Забайкалья во многом объяснялась отсутствием детального изучения фауны и ее сопоставления с аналогичными фаунами смежных регионов.

В сводной работе о геологическом строении Забайкалья В. Н. Козеренко ⁽³⁾ указывает, что первое монографическое описание фауны пермских отложений данного региона выполнено Д. Ф. Масленниковым. Последним проведено стратиграфическое расчленение пермских отложений на свиты, дана их фаунистическая характеристика и произведено сопоставление забайкальской фауны с аналогичными фаунами других регионов.

В пределах Восточного Забайкалья Д. Ф. Масленников выделил два пермских поля: Чиронское и Борзинское. В Чиронском поле им выделены три свиты: чиронская, унгадйская и береинская. В Борзинском поле выделено пять свит: кундойская, харанорская, белектуйская и борзинская. Пермские отложения Восточного Забайкалья отнесены к нижней перми. Только борзинская свита условно отнесена к верхней перми. В Западном Забайкалье стратиграфическое расчленение пермских отложений не произведено. Д. Ф. Масленников сопоставляет их с отложениями кундойской и харанорской свит Борзинского поля и чиронской и унгадйской свит Чиронского поля.

По мнению Д. Ф. Масленникова забайкальская фауна имеет большое сходство с пермской фауной северо-востока СССР. За последние годы в пределах развития пермских отложений Западного и Восточного Забайкалья проведены детальные тематические и геолого-съемочные работы (Ю. П. Деньгин, Л. А. Козубова, М. И. Тулохонов), в результате которых фауна была собрана послойно. Стратиграфический анализ фауны, определение которой произведено нами, показал, что в пределах Забайкалья выделяются как нижнепермские, так и верхнепермские отложения.

В целом для Забайкалья нами составлена следующая схема сопоставления морских пермских отложений (табл. 1), литологическая характеристика которых дана по Л. А. Козубовой, Ю. П. Деньгину, М. И. Тулохонову и Д. Ф. Масленникову. Гутайская свита выделена Ю. П. Деньгиным.

Таблица 1

Схема сопоставления морских пермских отложений Забайкалья

Возраст	Восточное Забайкалье		Западное Забайкалье
	Чиронское поле	Борзинское поле	
Верхняя пермь	Береинская свита	Борзинская свита	Гутайская свита
		Белектуйская свита	
Нижняя пермь	Унгадуйская свита	Харанорская свита	
	Чиронская свита	Кундойская свита	

Н и ж н я я п е р м ь. В Западном Забайкалье пермские отложения залегают непосредственно на гранитах и ороговикованных породах среднепалеозойского возраста. Нижнепермские отложения, составляющие нижнюю часть гутайской свиты, представлены конгломератами, аркозовыми и дресвянистыми песчаниками с прослоями полимиктовых песчаников и алевролитов. В основании содержатся конгломераты, состоящие из средне- и крупногалечных хорошо окатанных разностей с песчаным и глинистым цементом. Галька состоит преимущественно из разнообразных гранитоидов, в том числе и непосредственно подстилающих пермские породы, а также гранит-порфиров, кислых туфов, песчаников и среднепалеозойских алевролитов.

Выше залегают аркозовые песчаники кремово-желтого цвета, а также алевролиты тонкозернистые зеленовато-серого цвета с раковистым изломом.

Нижнепермские отложения Западного Забайкалья содержат следующие наиболее характерные виды: *Dielasma* cf. *truncatum* Tschern., *Rhynchopora* cf. *variabilis* Stuck., *Actinoconchus planosulcata* Phill., *Odontospirifer krasnotschikoensis* Masl., *Chonetes variolata* Orb., *Chonetipustula neoplicatilis* Step., *Pustula juresanensis* Tschern., *Plicatifera minor* Schellw., *Pustula verchoyanicus* Frcks var. *cisbaicalica* Masl.

Общая мощность не менее 100—150 м.

В Восточном Забайкалье нижнепермские морские отложения широко развиты на двух площадях — Чиронском и Борзинском полях. Нижнепермские отложения в этом районе залегают с резким угловым несогласием на метаморфических сланцах ононской свиты. В пределах Чиронского поля они представлены двумя свитами: чиронской и унгадуйской.

Чиронская свита в основании сложена базальным конгломератом. Его нижняя часть представлена гравийными конгломерато-брекчиями, а верхняя часть — гравийно-галечными конгломератами с валунами. На базальных конгломератах залегает горизонт плотных зеленовато-серых слюдистых полимиктовых песчаников, близких к аркозовым. Стратиграфически выше залегает мощная пачка алевролитов и песчаников. Фауна встречается в отдельных прослоях песчаников и алевролитов. Для этой свиты характерны

Следующие формы: *Chonetes paraconvexa* Masl., *Streptorhynchus crenistria* Phill. var. *spaticostata* Masl., *Spirifer* (*Cyrtospirifer* ?) cf. *kharaulakhensis* Frcks., *Neospirifer* cf. *subfasciger* Lich., *Martiniopsis* cf. *darviniformis* Einor, *Aviculopecten circularis* Masl. Мощность 400—900 м.

Унгадуйская свита залегает согласно на отложениях чиронской свиты. В основании свиты развиты гравийные конгломераты с прослоями песчаников и алевролитов. Выше залегает горизонт алевролитов темно-серого цвета, слюдястых, с прослойками алевитистых аргиллитов и тонкозернистых песчаников. Заканчивается разрез мощной пачкой зеленовато-серых, плотных, сильно рассланцованных слюдястых алевролитов с прослоями среднезернистых резко полимиктовых песчаников. Отложения унгадуйской свиты грауваккиско охарактеризованы слабо. В ней имеются *Dielasma plana* Masl., *Punctospirifer* cf. *ornatus* Waag., *Pustula*? *Mf. baicalensis* Masl., *Aviculopecten pterinoides* Masl., *Av. tschironensis* Masl. и др. Мощность 370—400 м.

В пределах Борзинского поля к нижней перми нами отнесены кундойская, харанорская и нижняя половина белектуйской свиты.

Кундойская свита представлена плотными темными глинистыми сланцами, песчано-глинистыми зеленоватыми сланцами, тонкозернистыми, сливистыми, кварцитовидными песчаниками и конгломератами. В этих отложениях в большом количестве встречены сетчатые мшанки, довольно редки брахиоподы (*Rhynchopora* cf. *labajensis* Tolm., *Spirifer* sp.) и пелециподы (*Leda* sp.) Мощность 845 м.

Харанорская свита в основании сложена мелкозернистыми, нередко кварцованными граувакками с прослоями и линзами конгломератов. Выше залегают глинистые песчаники, глинистые сланцы и мелкозернистые граувакки. В этих отложениях встречены линзы альбитофиров и плагиоклазовых порфиринов. Из этой свиты определены *Rhynchopora* cf. *labajensis* Tolm., *Spirifer* sp. ind., *Actinoconchus planosulcata* Phill., *Geinitzella* cf. *columnaris* Schloth. и др. Мощность 600 м.

Белектуйская свита к нижней перми нами отнесена неполностью, а только нижняя ее часть. Эта часть свиты представлена в основании граувакками, зеленовато-серыми, преимущественно мелкозернистыми, с подчиненными прослоями глинистых песчаников и мелкогалечных конгломератов, выше которых залегают песчаники, кварцитовидные, серые и темно-серые, с прослоями глинистых сланцев, сменяющихся по разрезу сланцами, кремнистыми и глинистыми, кварцитовидными песчаниками и линзами туфов.

В нижней части разреза белектуйской свиты среди глинистых песчаников встречена фауна *Chonetes* cf. *brama*-Frcks., *Cleiothyridina* cf. *pectinifera* Sow., *Aviculopecten* ex gr. *subclatratus* Keys и др. Мощность 580 м.

Верхняя пермь. В Западном Забайкалье к верхней перми мы относим верхнюю часть гутайской свиты, сложенной алевролитами зеленовато-серого цвета в основании с прекрасно выраженной скорлуповатой отдельностью и частыми прослоями грязно-желтых песчаников. Верхний горизонт алевролитов содержит довольно тонкий материал, не содержит фауны, и в нем имеются редкие прослои синевато-серых песчаников и конгломератов. Верхнепермские отложения содержат многочисленную фауну, среди которой наиболее характерными формами являются *Dielasma borealis* Frcks., *Cleiothyridina pectinifera* Sow., *Blasispirifer mongugayensis* Masl., *Licharewia* cf. *grewinki* Netsch., *Licharewia* cf. *stuckentergi* Netsch., *Pterospirifer latus* Schloth., *Pustula baicalensis* Masl., *Pseudobakewellia antiquaeformis* Joia., *Bakewellia* cf. *bicarinata* King, *Sanguinolites* cf. *lunulatus* Keys. Общая мощность 100—150 м.

В Восточном Забайкалье верхнепермские морские отложения нами выделяются в пределах Чиронского и Борзинского полей.

В Чиронском поле к верхней перми отнесена береинская свита, которую до сих пор относили к нижней перми.

Береинская свита согласно залегает на нижнепермских отложениях. В основании она представлена конгломератами крупногалечными, с валунами, с включением прослоев плотных крупнозернистых песчаников. Выше залегают разномышечные резко полимиктовые песчаники и сильно расщепленные зеленовато-серые глинистые и слюдяные алевролиты с фауной. Верхняя часть свиты сложена темно-серыми глинистыми алевролитами и песчаниками.

Для этих отложений наиболее характерными формами являются *Cleiothyridina cf. pectinifera* Sow, *Cleiothyridina cf. roysiana* Keys., *Licharewia cf. lahusei* Netsch., *Licharewia cf. rugulatus* Kut., *Neospirifer subfasciger* Lich., *Punctospirifer cristatus* Schloth., *Pterospirifer alatus* Schloth., *Cancrinella cf. cancrini* Vern., *Linoproductus koninckianus* Keys., *Pseudamusium pusillius* Schloth., *Nucula cf. wymensis* Keys., *Pleurophorus? Orientalis* Lich., *Straparollus cf. permianus* King. Мощность 450—500 м.

В пределах Борзинского поля к верхней перми нами отнесена верхняя часть белектуйской свиты и борзинская свита.

Белектуйская свита в своей верхней части представлена граувакками преимущественно средне- и грубозернистыми с прослоями глинистых песчаников и переслаиванием песчаников — темно-серых глинистых со светло-серыми, более тонкозернистыми — содержащих прослой глинистых сланцев и граувакк. В этой части свиты встречены *Neospirifer profasciger* Masl. и *Connulana cf. hollebenii* Gein. Мощность 400—420 м.

Борзинская свита, ранее условно относившаяся к верхней перми, представлена в основании песчаниками светло- и темно-серыми, глинистыми с прослоями сланцев и конгломерата, выше которых залегает пачка песчаников темно-серого и грязного цвета с граувакками. Верхняя часть свиты сложена песчаниками глинистыми и кварцитовидными с подчиненными прослоями сланцев и граувакк. В отложениях этой свиты найдены *Cyrtospirifer? aff. kharaulakhensis* Frcks, *Squamularia cf. elegantula* Gein., *Nucula cf. perlonga* Man., *N. subequilatera* Schloth. var. *tewagensis* Reed, *N. aff. wymensis* Keys., *Connularia hollebenii* Gein., *C. cf. laevigata* Moog и др. Мощность 860 м.

Заслуживает особого внимания находка В. А. Амонтовым верхнепалеозойских фузулинид в линзе известняков усть-борзинской свиты, в 1,5 км северо-восточнее пос. Усть-Борзя. Эта свита до сих пор относится к нижнему — среднему девону. Л. П. Гроздиловой из этого образца определены *Paraschwagerina (?) sp.*, *Triticites sp.* и *Fusulinella ex gr. pulchra* Raus. Этот комплекс фораминифер, по мнению Л. П. Гроздиловой, характеризует верхнюю часть верхнего карбона до нижней части сакмарского яруса. Первое появление карбонатной фации в основании нижней перми Забайкалья должно привлечь внимание геологов Забайкалья, так как от правильного решения вопроса о возрасте усть-борзинской свиты зависит во многом наше представление о тектоническом строении этого региона и общие вопросы металлогении Восточного Забайкалья.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт

Поступило
6 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. С. Донской, Геол. вестн., 6, № 4—6 (1929). ² О. М. Кичигина, Тр. Всесоюз. геол.-разв. объедин., в. 337 (1933). ³ В. Н. Козеренко, Геологическое строение юго-восточной части Восточного Забайкалья, Львов, 1956. ⁴ С. А. Музылев, В. Н. Руднев, Тр. Всесоюз. геол.-разв. объедин., в. 152 (1931). ⁵ Г. Н. Фредерикс, Изв. Главн. геол.-разв. упр., 49, № 7 (1930). ⁶ Г. Н. Фредерикс, Тр. Геол. музея АН СССР, 7 (1931). ⁷ Ю. М. Шейнман, Матер. по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири, № 1 (1930). ⁸ Ю. М. Шейнман, Тр. Вост.-Сиб. геол.-разв. треста, в. 7 (1935).

В. П. МАСЛОВ

СТРОМАТОЛИТЫ И ФАЦИИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 31 XII 1958)

Последние десятилетия принесли много нового для решения вопроса о происхождении, структуре и геологическом распространении строматолитов — этих единственных широко распространенных органогенных образований докембрия. Наметился ряд направлений в методике описания, номенклатуре и классификации строматолитов: 1) палеонтологическое направление (¹⁻³), при котором описываются микро- и макроструктуры условных родов строматолитов, относимых к синезеленым водорослям; 2) «ботаническое» направление (^{4, 5}), при котором микроструктурам строматолитов придается значение синезеленых или бурых водорослей из современных семейств, а внешней форме не придается значения; 3) литолого-палеонтологическое направление (⁶), при котором микро- и макроструктуры строматолитов считаются образованиями сложного происхождения и называются и классифицируются по особой морфологической системе, отличной от биологической, а следы водорослей и животных рассматриваются особо; 4) литологическое направление ((⁷) и др.), при котором не дается названий отдельным строматолитам или структурам, а их систематика производится по внешней форме и характеру слоистости*.

Такое многообразие методик и взглядов обусловлено сложным генезисом строматолитов, о чем речь будет ниже. По-видимому, в построении строматолитов участвуют разные комплексы низших водорослей в зависимости от солености воды, количества приносимого терригенного материала, глубины бассейна, силы движения воды (течения и прибой) и других, пока не выясненных причин (например, pH).

Строматолиты являются очень мелководными образованиями, рост которых требовал движения воды. Кластический материал при выпадении в большом количестве действовал губительно на строматолит и, накапливаясь быстрее его роста, не позволял образоваться этим стяжениям. При сравнительно небольшом проценте кластического материала строматолиты росли очень интенсивно. При этом кластический материал, выпадавший одновременно с ростом строматолита, обуславливал: а) разобщение строматолитовых вздутий, что позволяло ссыпаться этому материалу в промежутки между строматолитами; б) засорение тела строматолита пелитовыми зернами; в) постоянный рост строматолита на одном и том же месте и образование в результате столбообразных форм. Уменьшение количества механического осадка ведет к расширению тела строматолита.

Появление онколитов (желваков) вызывается резким увеличением роли прибоя и взмучивания данного материала. Этот процесс обычно связан с оолитообразованием. Оолиты, которые надо считать или химическими или бактерио-химическими карбонатными образованиями, часто сопровождают рост строматолитов.

* Дальнейшее изложение ведется с точки зрения 3-го направления.

Многолетние исследования ископаемых строматолитов и современных аналогичных образований позволили установить их связь с условиями осадкообразования. По-видимому, эта связь более тесная, чем у петрографического состава осадка. Так, например, одинаковые доломитовые отложения иногда перемежаются со строматолитами или включают их пропластки, что объясняется небольшими колебаниями глубин, при которых садка доломита шла одинаково, но менялись условия освещения. Общеизвестно, что происхождение строматолитов обусловлено жизнедеятельностью комплексов низших водорослей (главным образом синезеленых). Эта общепринятая точка зрения не всегда удовлетворительно объясняет образование некоторых структур, встречаемых в строматолитах.

Наблюдения в поле показывают, что при одном и том же карбонатном или песчано-карбонатном составе пород по простираанию наблюдается резкая смена форм строматолитов и их микроструктур, обусловленная, по-видимому, сменой более или менее спокойной воды течением, пересекавшим водоем, или другими явлениями, неуловимыми при визуальном методе литологического исследования. В частности, для установления связи строматолитов с осадком был сделан ряд химических анализов, которые показали, что при отложении доломитов строматолиты также оказались состоящими из доломита, а при отложении почти чистой извести строматолиты были известковыми.

Многократно описывались различные микроструктуры строматолитов. Неясность этих структур оставляет широкое поле для их произвольного толкования. Некоторые из них сохраняют свой вид по всему геологическому разрезу от докембрия до современного периода. Это, в частности, относится к сгустковой и зернистой структурам строматолитов. Для объяснения этого факта приведем следующие соображения. При рассмотрении происхождения строматолитов мы не можем отбросить механическое осаждение карбоната и терригенного пелитоморфного материала, который задерживался на войлоке неизвестковых водорослей, живших на поверхности строматолита⁽⁸⁾. Этим механическим осаждением осадка можно объяснить распространение зернистых микроструктур, ничего не дающих для палеонтолога, кроме внешней формы строматолита, так как сами водоросли гнивали уже при уплотнении осадка на дне водоема. Эту микроструктуру объясняют «перекристаллизацией» карбоната, которая также имеет место. Но очень часто встречаются строматолиты с зернистой структурой, которые имеют настолько тонкую и хорошо сохранившуюся слоистость и свежий вид, что о перекристаллизации не может быть речи. Таким образом, можно думать, что зернистая структура является результатом химического, механического и бактериального осаждения.

Обычно при рассуждении о происхождении строматолитов не учитывается фактор бактериального осаждения карбоната. Между тем опыты В. О. Калиненко⁽⁹⁾ показали, что колонии бактерий могут локально изменять кислотность воды и осаждают внутри колонии микроскопические шарики и зернышки карбоната при наличии благоприятных условий. Конечно, все перечисленные способы осаждения карбоната, включая и осаждение карбоната водорослями, тесно связаны с условиями среды. В частности, из исследования строматолитов ордовика Сибирской платформы вытекает следующий вывод: в нормально морском или переходном к пресноводному бассейну развиваются строматолиты различной внешней формы и морфологических типов с различными микроструктурами. В засоленных бассейнах и на морских мелях с интенсивным доломитоосаждением растут преимущественно строматолиты с зернистой микроструктурой морфологического типа *Collenia* с рядом морфологических групп, различающихся главным образом внешней формой и слоистостью.

Оптимальными условиями для роста строматолитов являются смена морских вод пресными, с одной стороны, и переход моря в засоленную лагуну — с другой, при наличии прочих условий (сильной мелководности, теплого

климата, минимального притока терригенного материала и т. п.). При исчезновении или изменении тех или иных условий меняются микроструктуры и внешняя форма строматолитов, по-видимому, в результате изменения ценоза строматолитостроящих организмов.

Таким образом, мы видим, что строматолиты являются образованиями сложного происхождения. В их построении участвуют живые организмы (низшие водоросли и, может быть, бактерии), которым строматолиты обязаны образованием внешней формы и некоторых микроструктур. Вместе с тем на строматолиты оказывают сильное влияние химический и механический осадки. Все эти факторы тесно связаны с фациями.

Водоросли и бактерии могли изменяться в своем составе в течение геологического времени. Условия осадкообразования также изменялись в течение того же времени и, может быть, учесть эти изменения нам помогут строматолиты. Отсюда также вытекает вывод о сложности изучения строматолитов как результата осадкообразования и как руководящих стратиграфических указателей.

Приуроченность преобладающего числа строматолитов к обширным мелям эпиконтинентальных морей обычно связывается с платформенными осадками. Строматолиты из складчатых зон, по-видимому, образовались в бассейнах того же типа, в дальнейшем претерпевших тектонические преобразования. Среди строматолитовых толщ встречаются рифоподобные образования в виде полей биогермов и локальных карбонатных вздутий, выступавших над дном водоема на 1—3 м. Чаше встречаются биостромы и пропластки, тянувшиеся на значительное расстояние, которыми можно пользоваться как районными и региональными маркирующими горизонтами (¹⁰). Такие «строматолитовые фации», как указывалось выше, большей частью связаны с переходной зоной от нормально соленого моря к пресноводным дельтам или к засоленным лагунам. Лишь иногда в строматолитах или в синхроничном им осадке вблизи строматолита встречаются обитатели моря. Главная же часть строматолитов является «антагонистами» морских животных.

Это легко объясняется тем, что большинство животных и водных растений не переносят изменений солености воды, что неизбежно в переходных зонах. В то же время разные комплексы низших водорослей (главным образом синезеленых) и бактерий живут и пышно развиваются в кратковременных благоприятных для них условиях как в соленой, так и в полупресной и пресной водах.

Резко различные фациальные зоны (карбонатные песчаники и доломиты) в одной и той же свите ордовика Сибирской платформы не позволили отождествить строматолиты, развитые в этих зонах. Появление (хотя бы спорадическое) тех же условий в нижнем и верхнем течении р. Ангары обусловило наличие тех же микро- и макроструктур, что позволило отождествить отдельные формы строматолитов и протянуть узкие горизонты в районах, удаленных друг от друга на 300 км и более.

Во многих случаях сходство внешней формы и малое количество отличительных признаков строматолитов, а также несовершенство наблюдений заставляли исследователей отказываться от придания строматолитам какого-либо стратиграфического значения (¹¹). Но такой вывод надо считать преждевременным. Если сравнить количество строматолитов, встречаемых в разных системах, то бросается в глаза сильное их развитие в протерозое, кембрии и ордовике. Реже они встречаются в девоне и еще реже в карбоне и перми. Изредка их можно встретить в мезозое и кайнозое. Мы полагаем, что это говорит об изменении количества строматолитостроящих организмов, а также условий солености и осадкообразования в течение геологического времени.

Таким образом, при дальнейшем изучении строматолитов возникает ряд задач литологического порядка. Изучение этих образований в дальнейшем может привести к суждениям о характере изменений условий осадкооб-

разования в течение геологической истории земли и, может быть, к возможности использования некоторых форм строматолитов как руководящих ископаемых.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
25 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. L. Fenton, Bull. Geol. Soc. Am., 50, № 1, 89 (1939). ² R. Rezak, U. S. Geol. Surv. Profess. Paper, № 294—D, 127 (1957). ³ П. С. Краснопеева, Мат. геол. Зап.-Сибир. края, № 4 (1933); № 35 (1936); Атлас рук. форм иск. фауны и фл. Зап. Сибири, 1, 1955. ⁴ К. Б. Кордэ, Вопр. геол. Азии, 1, М., 1954. ⁵ А. Г. Вологдин, Изв. АН СССР, сер. биол., № 1, 83 (1948). ⁶ В. П. Маслов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1953). ⁷ И. К. Королюк, Тр. Инст. нефти, 7, 1956, стр. 51. ⁸ M. Black, Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B, 222, 165 (1933). ⁹ В. О. Калинин, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 145 (1952). ¹⁰ L. Cahen, A. Jamotte, L. Lepersonne, G. Mortelmans, Bull. serv. géol. Congo Belge, № 2, 171 (1946). ¹¹ O. H. Schindewolf, Geotektonisches Symposium zu Ehren von H. Still. 1956, p. 455.

М. С. НАГИБИНА

СХЕМА ТЕКТОНИКИ СЕВЕРНОЙ МАНЬЧЖУРИИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 30 IX 1958)

Летом 1957 г. мною вместе с Е. Тин-суном в составе Советско-Китайской Амурской комплексной экспедиции были проведены геологические исследования по маршруту от г. Благовещенска через г. Нуньцзян (Мергень) до г. Аргунска в Восточном Забайкалье, через хребты Малый и Большой Хинган.

Эти исследования доставили много новых данных о геологии крайне слабо изученных районов. В их строении принимают участие различного возраста докембрийские, нижнепалеозойские и девонские отложения, представленные в разной степени метаморфизованными осадочными и вулканогенными образованиями геосинклинального типа, на размытой поверхности которых залегают пермские относительно слабометаморфизованные песчаники и сланцы, переслаивающиеся с вулканогенными породами морского и лагунно-континентального происхождения. Верхние структурные ярусы сложены юрскими и меловыми континентальными отложениями — вулканогенно-осадочными и угленосными и рыхлыми кайнозойскими осадками и излияниями базальтов и андезитов.

Исключительно широко распространены здесь интрузивные образования различного возраста. Докембрийские интрузии диоритового и гранитного состава: каледонские — диориты, габбро и различного состава гранитоиды; герцинские — диориты, габбро, ультраосновные породы и граниты; верхнемезозойские (яньшанские) — граниты, гранодиориты, гранит-порфиры и другие породы, слагающие относительно небольшие тела.

Вдоль главного маршрута по пересечению хр. Большого Хингана с юго-востока на северо-запад нами выделены следующие крупные структурные элементы, имеющие различное геологическое строение и располагающиеся последовательно к северо-западу от огромной Центрально-Маньчжурской синеклизы (рис. 1).

Северо-западная окраина крупной Центрально-Маньчжурской синеклизы (Сунляу) выполнена рыхлыми верхнемезозойскими и кайнозойскими отложениями (цагаянской серии), спокойно залегающими на докембрийских гнейсах, складчатых силурийских отложениях, прорванных гранитами, и на дислоцированных нижнемеловых и верхнеюрских отложениях, выполняющих узкие впадины. Северо-западная окраина синеклизы обрамлена ступенчатыми сбросами северо-восточного и близкого к меридиональному простиранию, вдоль которых располагаются вулканические конусы, сложенные базальтовыми лавами и туфами третичного и четвертичного возраста.

Люотунское поднятие имеет северо-восточное простирание, шириной около 25 км, сложено складчатыми докембрийскими и силурийскими отложениями. Складчатые метаморфические образования прорваны герцинскими интрузивами гранитов. На юго-восточной окраине Люотунского поднятия располагаются ступенчатые грабены, имеющие северо-восточное простирание, выполненные отложениями верхнеюрского и нижнемелового возраста.

Таяншунский прогиб имеет северо-восточное простирание шириной около 85 км; он выполнен отложениями верхней юры и нижнего мела, смятыми в пологие складки брахиантиклинального и брахисинклинального типа, на которых залегают мощные покровы верхнемеловых базальтов и кислых эффузивов. Верхнемеловые отложения слабо дислоцированы и пересечены многочисленными сбросами, местами образующими более крупные зоны разлома северо-восточного простирания.

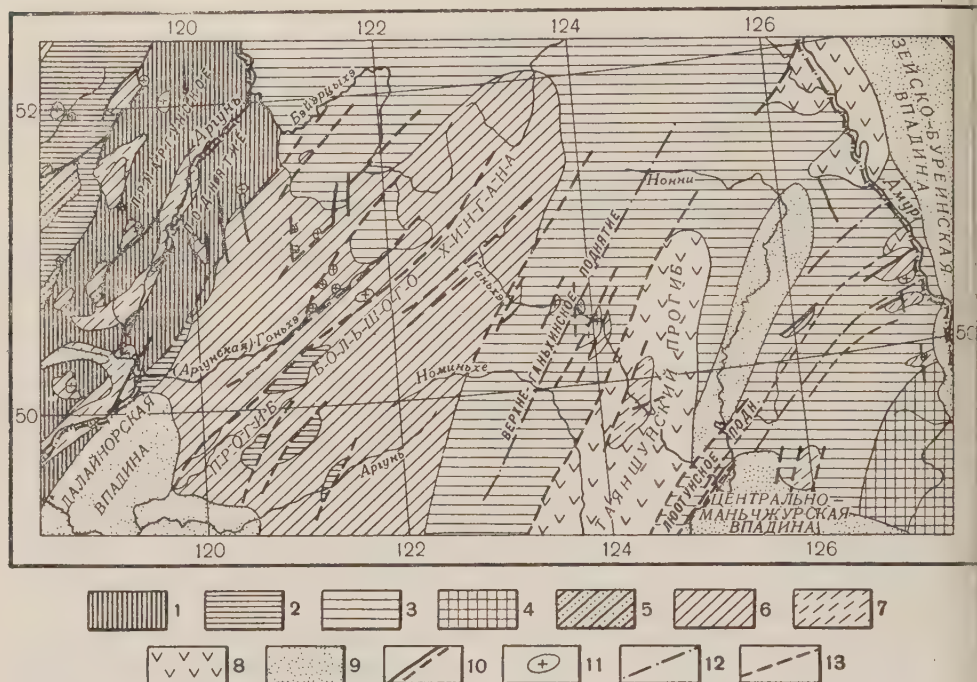


Рис. 1. Схема тектоники Северной Маньчжурии. Область герцинской складчатости: 1 — геоантиклинальные зоны и гранитные массивы, 2 — геосинклинальные зоны и гранитные массивы, 3 — нерасчлененные складчатые структуры герцинского возраста и гранитные массивы, 4 — Бурейский массив, 5 — прогибы и наложенные мульды, выполненные нижне- и среднеюрскими терригенными отложениями, 6 — прогибы, выполненные верхнеюрскими и нижнемеловыми вулканогенно-осадочными отложениями, 7 — впадины, выполненные слабодислоцированными нижнемеловыми вулканогенно-осадочными или угленосными отложениями, 8 — впадины, выполненные слабодислоцированными верхнемеловыми вулканогенными отложениями, 9 — впадины (синеклизы), выполненные рыхлыми кайнозойскими отложениями, 10 — разломы, 11 — верхнемезозойские гранитоиды, 12 — оси антиклинориев, 13 — оси синклинориев

Верхне-Ганьхинское поднятие имеет северо-восточное простирание, шириной около 90 км. В его строении главную роль играют крупные гранитные интрузивы каледонского и герцинского возраста, прорывающие сложноскладчатые метаморфические образования протерозойского — нижнепалеозойского возраста. Вдоль северо-западной и юго-восточной окраин Верхне-Ганьхинского поднятия располагаются две небольшие наложенные мульды северо-восточного простирания (Предхинганская и Норкетинская) шириной 8 и 9 км, выполненные верхнеюрскими и нижнемеловыми вулканогенными образованиями мощностью 300—400 м. Палеозойские кристаллические породы, слагающие Верхне-Ганьхинское поднятие, а также мезозойские верхнеюрские и нижнемеловые вулканогенные образования пересечены разломами, представляющими системы сбросов различного масштаба, северо-восточного и меридионального простирания, вдоль которых местами проникли многочисленные штоки, дайки и более крупные массивы верхнемезозойских гранитоидов и их жильные отщепления. К се

северо-западу от Норкетинской наложенной мульды располагается крупный массив мезозойских гранитов, имеющий более 10 км в поперечнике.

Прогиб Большого Хингана также имеет северо-восточное простираание шириной около 200 км, выполнен в северной части верхнеюрскими и нижнемеловыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями мощностью около 4500 м. Прогиб Большого Хингана имеет асимметричное строение и ограничен с северо-запада и юго-востока крупными зонами разломов северо-восточного простираания. Наибольшие мощности отложений наблюдаются вдоль северо-западного крыла прогиба. Юрские и меловые отложения в пределах прогиба смяты в складки корабатого или брахисинклинального типа, пересеченные многочисленными сбросами, местами образующими зоны разломов северо-восточного простираания. Более интенсивные дислокации наблюдаются в пределах северо-западного крыла прогиба. Наиболее крупные зоны разломов здесь располагаются в участках сочленения антиклинальных и синклинальных структур. Обычно к этим зонам приурочены массивы и штоки мезозойских гранитоидов размером до 1,5 км в поперечнике. Отдельные более крупные массивы мезозойских гранитов приурочены также к сводовым частям антиклиналей корабатой формы.

Приаргунское поднятие имеет северо-восточное простираание и является непосредственным продолжением крупного Приаргунского поднятия юго-восточного Забайкалья, представлявшего собой в среднем палеозое антиклинорий северо-восточного простираания. На китайской территории вдоль пересечения 1957 г. Приаргунское поднятие имеет ширину около 65 км, сложено докембрийскими гнейсами и гранито-гнейсами и метаморфическими протерозойскими и палеозойскими отложениями, прорванными каледонскими, герцинскими и мезозойскими гранитными интрузивами и небольшими интрузивными телами диоритов и габбро различного возраста. В пределах Приаргунского поднятия исключительно широко развиты дизъюнктивные нарушения, по-видимому, различного возраста. Вдоль долины р. Аргуни в пределах Приаргунского поднятия располагаются узкие грабены и грабенсинклинали северо-восточного простираания, выполненные слабо дислоцированными верхнеюрскими вулканогенными образованиями и нижнемеловыми осадочными и пирокластическими отложениями, слабо дислоцированными и пересеченными сбросами близкого к меридиональному простираанию.

В пределах хр. Малого Хингана в результате геолого-съемочных работ 1957 г., проведенных китайскими геологами под руководством инженера Чжао Гуй-сань, и наших маршрутных исследований представляется возможным выделить крупные линейно вытянутые складчатые структуры северо-восточного простираания, геосинклинали и геоантиклинали, сложенные докембрийскими метаморфическими породами и мощными силурийскими и девонскими отложениями эвгеосинклинального типа. Палеозойские отложения, слагающие крупные геосинклинальные структуры, интенсивно дислоцированы и прорваны интрузивами гранитоидов. На размытой поверхности складчатых силурийских и девонских отложений в пределах геосинклиналей залегают слабо метаморфизованные морские и лагунно-пресноводные пермские отложения, выполняющие небольшие внутренние впадины.

Складчатые докембрийские и палеозойские образования Малого Хингана пересечены многочисленными разломами северо-восточного меридионального и близкого к широтному простираанию. Вдоль этих разломов местами образовались небольшие грабены и грабен-синклинали, выполненные слабо дислоцированными верхнеюрскими вулканогенными и нижнемеловыми вулканогенно-осадочными и угленосными отложениями. Простираание верхне-мезозойских грабенов и грабен-синклиналей северо-восточное, близкое к широтному и к меридиональному. Вдоль разломов, обрамляющих мезозойские впадины и пересекающих более древние метаморфические породы хр. Малый Хинган, местами проникли различного размера тела верхнеме-

зозойских гранитоидов, прорывающие как верхнеюрские андезиты, так и более древние породы палеозойского и докембрийского возраста.

До настоящего времени территория Северной Маньчжурии советскими (², ⁴) и некоторыми китайскими (⁵) геологами рассматривалась условно как область герцинской складчатости. Многие китайские геологи относили область Северной Маньчжурии и хр. Большой Хинган к Северо-Маньчжурскому массиву Китайско-Корейской платформы досинийского возраста.

Полученный в результате пересечения хребтов Большого и Малого Хингана новый стратиграфический и тектонический материал позволяет территорию Северной Маньчжурии относить к герцинской складчатой области в системе крупной зоны Восточно-Азиатских герцинид, располагающихся между древними Сибирской и Китайско-Корейской платформами. Герцинские складчатые структуры Северной Маньчжурии сильно переработаны глыбово-складчатыми движениями верхнемезозойского возраста, характеризующими собой новую послегеосинклинальную стадию развития этой области.

В кайнозойское время происходит формирование крупных структур платформенного типа, широких синеклиз (Центрально-Маньчжурская (Сунляу) и Зейско-Буреинская) и пологих сводовых поднятий — Большого и Малого Хингана. В кайнозойское время местами продолжают «жить» разломы, заложённые в палеозойское или мезозойское время, и возникают новые трещины, вдоль которых происходят излияния андезитов, базальтов и щелочных базальтов «маньчжуритов» и шихлунитов.

Описанное выше отчетливо выраженное северо-восточное простирание палеозойских и верхнемезозойских структур Северной Маньчжурии не подтверждает предположение А. М. Смирнова (³) и Л. И. Красного (¹) о дугообразном изгибе складчатых палеозойских структур на этой территории. Не подтверждается также новыми геологическими материалами и расчленение Северной Маньчжурии на зону ранне- и позднегерцинской складчатости, сделанное теми же авторами.

Вдоль разломов северо-восточного и близкого к меридиональному простирания, пересекающих палеозойские и более древние складчатые структуры в поднятиях и верхнемезозойские отложения в прогибах, местами проникли многочисленные интрузивные тела мезозойских гранитоидов различного возраста, с которыми связано свинцово-цинковое, оловяно-вольфрамовое и флюоритовое оруденение. В настоящее время вдоль зоны сочленения прогиба Большого Хингана и Приаргунского поднятия в пределах западного крыла прогиба Большого Хингана намечается наиболее перспективный пояс флюоритового и полиметаллического оруденения, имеющий также северо-восточное простирание.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
27 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Красный, А. М. Смирнов, ДАН, 117, № 3 (1957). ² М. С. Нагибина, Бюлл. МОИП, № 3 (1958). ³ А. М. Смирнов, Основные вопросы геологии Маньчжурии, Харбин, 1954. ⁴ Тектоническая карта СССР и сопредельных стран, под редакцией Н. С. Шатского, Изд. 1953 и 1956 гг. ⁵ Хуан Ти-цин, Основные черты тектонического строения Китая, ИЛ, 1952.

В. С. САЯНОВ

**К МИНЕРАЛОГИИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ МИОЦЕНОВЫХ
ИЗВЕСТНЯКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 25 XII 1958)

В комплексе литологических работ, проводимых автором с 1956 г., изучались тонкодисперсные минералы в миоценовых известняках северо-западного Причерноморья.

Изучение минералов глинистой фракции нерастворимых остатков известняков представляет несомненный интерес вследствие приуроченности отдельных минералов глин к вполне определенным фациальным условиям и, тем самым, совместно с палеонтологическими и другими данными может служить своеобразным индикатором физико-химической обстановки седиментации.

В миоценовых отложениях западного Причерноморья известняки развиты незначительно среди пород тортонского яруса, ниже- и среднесарматского подъярусов, — все они преимущественно относятся к категории «чистых», так как количество MgO и нерастворимого остатка не превышает 5%. Для всех известняков характерно присутствие рифовых построек, линейное распределение фаций и чрезвычайно мелководные условия образования. На последнее указывает обилие водорослей, детритусовый характер большого числа разностей пород, опрокинутое расположение крупных створок пелеципод, следы частых местных размывов, наличие брекчий и галек из нижележащих пород, наличие поверхностей растрескивания и др. Несмотря на перечисленные общие черты, известняки каждого стратиграфического горизонта по своим структурным особенностям резко отличаются друг от друга. Так, в тортоне преобладают мшанково-водорослево-обломочные разности, в нижнем сармате — оолитовые, в среднем сармате — преимущественно фораминиферовые и органогенно-обломочные, в составе которых принимают участие фрагменты пелеципод, гастропод, фораминифер, водорослей, мшанок и т. д.

Из большинства структурных разновидностей всех горизонтов выделялись нерастворимые остатки.

Карбонаты удалялись на холоду 1,5—2,0%-й HCl . отмывка от Cl' производилась обычным способом с контролем $AgNO_3$. Мы признаем тот факт, что всякая обработка влияет на минералы глин, но, как отмечает Н. М. Страхов, «коллоидная фракция карбонатных илов не меняется сколько-нибудь значительно под влиянием кислот небольшой концентрации; определение в ней коллоидных минералов дает природную картину, а не искусственно созданную картину»⁽⁵⁾. Выделенный нерастворимый остаток подвергался гранулометрическому анализу; фракции крупнее 0,01 мм исследовались обычным путем в шлифах и в иммерсионных препаратах, однако эти фракции получались в малых количествах и особого значения в нашем случае не имеют; фракции 0,01—0,001 мм и $>0,001$ мм изучались комплексно с ис-

пользованием данных оптического анализа, рентгено- и электроноскопии*. По гранулометрическому составу основная масса нерастворимых остатков относится к пелитам и только в оолитовых известняках нижнего сармата Приднестровских разрезов — к пескам; алевроиты крайне редки. К какой бы группе пород по гранулометрическому анализу ни относились нерастворимые остатки, они всегда характеризуются хорошей отсортированностью материала.

Комплексное изучение коллоидной фракции нерастворимых остатков известняков миоцена северо-западного Причерноморья позволило установить в ней следующие минералы: гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, мало измененные слюды (мусковит), кварц.

Гидрослюда имеют смешанный состав, с преобладанием продуктов изменения мусковита. Светопреломление их варьирует ($N_{\text{ср}}$ — 1,546—1,555). По данным термического и рентгеноструктурного анализа, отчетливо выделяется два типа гидрослюд, несколько сходных с некоторыми типами гидрослюдов, отмечаемыми В. П. Петровым⁽³⁾, М. А. Ратеевым⁽⁴⁾ и др.

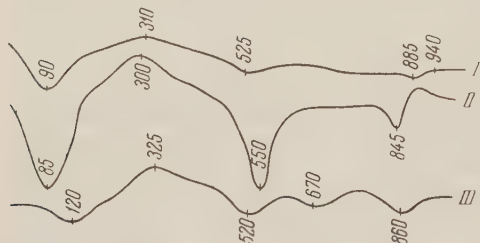


Рис. 1. Кривые нагревания. I — гидрослюда первого типа, образец № 445, фракция 0,01—0,001 мм; II — гидрослюда второго типа, образец 608, фракция < 0,001 мм; III — монтмориллонит с гидрослюдой, образец № 11-к, фракция < 0,001 мм

Так, у первого типа на кривых нагревания (рис. 1, I) средняя эндотермическая остановка протекает при максимуме 510—530°, у второго типа вторая эндотермическая остановка протекает при более высокой температуре, равной 540—560° (рис. 1, II). У всех гидрослюдов почти всегда наблюдается третий эндотермический эффект при температуре 860—880°, который часто появляется, возможно, от присутствия монтмориллонита. Большинство тер-

мограмм гидрослюдов очень близки к кривым нагревания некоторых иллитов.

На рентгенограммах гидрослюдов второго типа, кроме общих наиболее интенсивных линий глинистых минералов⁽¹⁾, всегда присутствуют интенсивные линии с межплоскостными расстояниями 3,26—3,29 и 1,95—1,99 Å, что отличает их от порошкограмм других гидрослюдов. Эти линии по своим значениям близки к линиям кварца, однако при наличии последнего всегда наблюдается четкий дублет. Большинство слюдов сильно гидратированы, на что указывает сравнительно большое количество низкотемпературной воды.

Каолинит устанавливается в виде примеси, в единичных образцах — с помощью электронного микроскопа и рентгенометрически по основному комплексу линий с $d = 7,21$ — $7,06$ Å; $3,59$ — $3,56$ Å; $2,36$ — $2,33$ Å; $1,48$ — $1,47$ и др. Под электронным микроскопом каолинит представлен в виде обломков чешуек, лишь частично сохранивших кристаллографические очертания, но всегда встречаются псевдогексагональные пластинки с резкими ограничениями.

Монтмориллонит определяется на термограммах по наиболее развитой низкотемпературной остановке при 120—125°, в некоторых образцах первый эндотермический эффект имеет небольшой пик в виде ступеньки при 170—180°, а также по второму и третьим эндотермическим эффектам, которые протекают соответственно при максимуме от 610 до 670 и 860—880°, третий эндозэффект при температуре 940—970° непосредственно переходит в эндотермический (рис. 1, III). Мало измененные минералы — мусковит, кварц и очень редко биотит — констатируются главным образом по комплексу их дифракционных линий.

* Дебаграммы снимались В. И. Дедю под руководством Т. И. Малиновского, термограммы снимал В. М. Бобринский, которым автор выражает искреннюю благодарность.

Рассмотрим распределение глинистых минералов в известняках по отдельным стратиграфическим горизонтам. Самыми древними известняками в составе миоцена северо-западной части Причерноморья являются тортонские, распространенные в бассейне р. Прут, в северо-западной части МолдССР, на весьма ограниченной территории и представленные двумя зональными зонами — зоной слоистых мелководноморских известняков и зоной рифов.

В этих известняках глинистая фракция в основном представлена гидрослюда с примесью монтмориллонита и кварца.

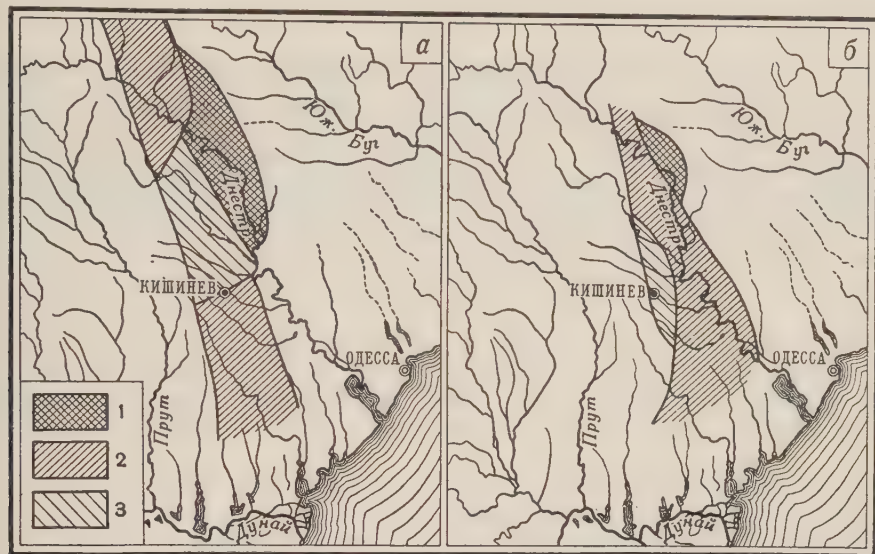


Рис. 2. Схема распространения глинистых минералов в нерастворимых остатках известняков нижнего (а) и среднего (б) сармата. 1 — каолинит — гидрослюда, 2 — гидрослюда, 3 — монтмориллонит — гидрослюда

В Приднестровье (правый берег р. Днестр, с. Бурсук) известны переходные слои от тортона к сармату, представленные пачкой глин мощностью 8—10 м, содержащих смешанную фауну тортонских и нижнесарматских форм (конско-бугловский горизонт), указывающих на отложение этих слоев в сильно опресненном бассейне. Основными минералами этих глин во фракции 0,01—0,001 мм являются мусковит и кварц, а во фракции <0,001 мм — гидрослюда, приближающаяся к гидромусковиту и монтмориллониту. Приутствие последнего обусловлено монтмориллонитизацией гидрослюда, а также, вероятно, размывом монтмориллонитовых прослоев, связанных с разложением вулканического стекла, которое в значительных количествах встречается в данной толще.

Среди известняков нижнего сармата, по минералам глинистой фракции нерастворимого остатка, выделяются следующие зоны (рис. 2 а): северо-восточная каолиново-гидрослюдастая, северо-западная гидрослюдастая, центральная монтмориллонитово-гидрослюдастая и южная гидрослюдастая.

В известняках среднего сармата, по минеральному составу фракции <0,001 мм, намечается три зоны (рис. 2 б): каолиново-гидрослюдастая, гидрослюдастая и монтмориллонитово-гидрослюдастая.

Широкое распространение гидрослюдов в известняках, очевидно, обусловлено их привносом как чисто механических образований. Примесь каолинита, как видно из рис. 2, в нижнем и среднем сармате приурочена к одним и тем же районам, что, несомненно, обусловлено выносом его во взвешенном состоянии палеорекой, текущей с Украинского кристаллического массива, богатство которого месторождениями каолинита общеизвестно. На наличие

в данном районе палеодельты в нижнесарматское время указывал еще В. П. Колесников⁽²⁾; вероятно, ее влияние сказывалось и в среднем сармате

Приведенный минералогический состав глинистых фракций нерастворимых остатков свидетельствует о явном преобладании гидрослюдов в известняках миоцена северо-западного Причерноморья, которые занимают максимальную площадь и образуют как бы общий фон. Остальные глинистые минералы имеют небольшое распространение и служат примесями, часто имеющими палеогеографическое значение.

Институт геологии и полезных ископаемых
Молдавского филиала Академии наук СССР

Поступило
15 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. В. Иогансен, Дебаграммы глинистых минералов кристаллографии, Сборник статей, Тр. Федоровской научной сессии 1951 г., М.—Л., 1952. ² В. П. Колесников, Стратиграфия СССР, 12, 1940. ³ В. П. Петров, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 95, 1948. ⁴ М. А. Ратеев, Распространение глинистых минералов в живецких и щигровских отложениях. Вопросы минералогии осадочных образований, кн. 3 и 4. Изд. Львовск. унив., 1956. ⁵ Н. М. Страхов и др., Сборник Образование осадков в современных водоемах, Изд. АН СССР, 1954.

Член-корреспондент АН СССР К. Р. ЧЕПИКОВ, Е. П. ЕРМОЛОВА и Н. А. ОРЛОВА

ЭПИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА НЕФТИ В ПЕСЧАНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Вопрос о времени прихода нефти в пласт-коллектор имеет очень важное значение как в практическом, так и в теоретическом отношении. С решением данного вопроса тесно связано выяснение ряда условий формирования месторождений нефти, что, в свою очередь, является важным для выявления закономерностей в размещении нефтяных месторождений в земной коре.

Для определения времени прихода нефти в песчаные пласты нами сделана попытка изучения характера взаимоотношения нефти с эпигенными минералами. Для исследований были взяты образцы нефтесодержащих пород из крупнейших нефтяных месторождений Волго-Уральской области.

Из месторождений Ромашкино, Бавлы, Туймазы, Яблоновый и Зольный овраги были отобраны образцы кварцевых песчаников пашийской свиты и из Мухановского месторождения — образцы пород нижнекаменноугольного возраста. Наиболее детально были изучены образцы из I—IV пластов нижнекаменноугольных отложений Муханова.

Кластический материал изученных песчаных и алевроитовых пород представлен исключительно кварцем (95—98%). Следует подчеркнуть, что изучались неглинистые разности, цементом которых служат исключительно эпигенные минералы. Исследованные коллекторы большей частью обладают высокими значениями эффективной пористости ($P_z = 17—22\%$). Наряду с ними были образцы песчаников с более низкими значениями эффективной пористости и даже непроницаемые разности. Как показали исследования, роль эпигенных минералов в цементации неглинистых разностей кварцевых песчаников и алевролитов не является равнозначной. Первое и главное место принадлежит регенерационному кварцу, обычно равномерно пронизывающему всю породу. Другие эпигенные минералы имеют только локальный характер выделений и более сгруппированное распространение.

Эпигенный кварц чаще всего выделяется в виде регенерационной оболочки разной толщины и нередко только скрепляет обломочные зерна, весьма незначительно заполняя поровое пространство.

Карбонаты (кальцит и доломит) и ангидрит, как правило, цементируют песчаники и алевролиты отдельными пятнами разного размера и форм, имеющих пойкилитовую структуру. Все указанные минералы корродируют обломочный и регенерационный кварц и иногда полностью замещают его, обуславливая базальный тип цементации. Выделение карбоната и ангидрита чаще всего наблюдается в небольших количествах (3—4%). Только в отдельных образцах содержание карбонатов доходит до 25—30%.

Пирит эпигенетический встречается в виде отдельных кристаллов разной величины или в виде их агрегатов. Крупные кристаллы пирита образуют пойкилитовую структуру. Пирит корродирует и регенерационные оболочки и обломочные зерна кварца. Встречается в количествах, редко достигающих 5%.

Исследования под микроскопом показали, что в песчаниках наблюдалась определенная последовательность образования эпигенных минералов: кварц — пирит — карбонат (кальцит и доломит) — ангидрит.

Кратко остановимся на генезисе эпигенных минералов в изученных породах. Эти породы залегают на глубинах порядка 1000—2500 м, что обусловило сравнительно высокую температуру в них. Образование эпигенных минералов, скорее всего, может быть связано с растворенными компонентами, находившимися в морской наддонной и затем в иловой воде бассейна накопления песчаных и глинистых осадков. В стадию седиментогенеза они не выпадали в осадок из-за недонасыщенности этих вод соответствующими солями. Впоследствии с погружением осадков на глубину происходило изменение физико-химических констант раствора (повышение температуры, минерализации, изменение pH и т. д.). Последний оказался пересыщенным сначала кремнеземом, а затем карбонатами и ангидритом, что и обусловило соответствующий порядок их выделения в породах.

Если из указанной выше последовательности (кварц, пирит, карбонат, ангидрит) исключить пирит, условия образования которого весьма специфичны и отличаются от условий образования других минералов, то порядок выделения кварца, карбоната и ангидрита хорошо согласуется с повышением величины их растворимости от кварца к ангидриту.

Процесс регенерации, по нашему мнению, происходил в основном в начальный период эпигенеза. Источником главной массы вторичного кварца, повсеместно регенерирующего обломочный материал, по-видимому, является растворенный в морской или иловой воде кремнезем. В более позднее время процесс регенерации кварцевых обломков шел слабее, усиливаясь лишь локальными участками, и был вызван другими причинами (перекристаллизация кварцевых обломков при их сдавливании и перераспределение кремнезема внутри пласта, в результате коррозии кварцевого материала более поздними эпигенными минералами).

Образование карбонатов (кальцита и доломита) происходило на сравнительно большой глубине. Постепенное повышение температуры и изменение других физико-химических показателей, объясняемое медленным погружением отложений на все большую глубину, обусловило и медленное метасоматическое осаждение карбонатов с образованием крупнокристаллической пойкилитовой структуры.

В отношении ангидрита известно, что величина его растворимости при температуре выше 40—60° понижается, поэтому его осаждение на большой глубине в условиях сравнительно высокой температуры вполне возможно. Одним из доказательств более позднего выделения ангидрита, по сравнению с карбонатами, является приуроченность последнего к периферийной зоне стяжений доломитового цемента при совместном нахождении ангидрита и доломита.

Итак, анализ последовательности образования эпигенных минералов в кварцевых песчаниках и алевролитах показал, что минералы, выделившиеся последними (карбонаты и ангидрит), являются новообразованиями, возникшими в условиях довольно больших глубин.

Встает вопрос, каково взаимоотношение нефти с эпигенными минералами и какое место она занимает в ряду последовательности выделения эпигенных минералов, если рассматривать нефть в песчаных породах как минеральное тело.

Нефть во всех рассмотренных образцах заполняла все свободные сообщающиеся поровые каналы песчаников и алевролитов, уже предварительно сцементированных эпигенными минералами. Форма включений нефти в песчаниках и алевролитах обусловлена морфологией порового пространства и является ее повторением. Эпигенные минералы, как правило, включений нефти не содержат. Иногда отмечают тонкие пленки нефти на контактах кварцевых зерен с эпигенным карбонатным и ангидритовым цементом по трещинам спайности и по контурам отдельных кристаллов кальцита,

доломита и ангидрита. Все это может служить доказательством того, что нефть заполняла поровые пространства пород после выделения в них всего комплекса эпигенных минералов и, следовательно, имеет наиболее поздний возраст.

Таким образом, минералообразующие процессы, протекавшие в песчаных и алевролитовых породах продуктивных пластов рассмотренных месторождений, были в основном завершены до аккумуляции в них нефти. Вероятность промышленных скоплений нефти в песчаниках и алевролитах до образования в них эпигенных минералов, нам кажется, исключается.

Другой возможностью ориентировочного определения времени инфильтрации нефти в породу служит сравнение комплекса и степени интенсивности эпигенного минералообразования в водоносных и нефтеносных породах продуктивных пластов. Если приход нефти в породу прекращает в ней всякие минералообразующие процессы, то в водоносных породах указанные процессы могут продолжаться и приводить к образованию новых минеральных видов.

В водоносных и нефтеносных породах продуктивных пластов Мухановского месторождения встречался один и тот же комплекс эпигенных минералов с одинаковой последовательностью их выделения. Однако степень интенсивности выделения кальцита и доломита в водоносных породах несколько выше, чем в нефтеносных.

Данное обстоятельство, вероятно, является свидетельством того, что в то время как процессы образования этих минералов в нефтеносных породах прекратились, в водоносных они продолжались еще некоторое время.

При сравнении результатов исследований нефтеносных пород нижнекаменноугольных отложений Мухановского месторождения, изученных более детально, с породами-коллекторами девонских отложений Ромашкина, Бавлов, Туймазов и др. наблюдалась одна и та же картина. Только процесс окварцевания в девоне в ряде случаев был выражен интенсивнее. Нефть, как правило, и в девонских породах выполняла сообщающиеся поры песчаников и алевролитов после образования последних по времени выделения эпигенных минералов; включения нефти в эпигенных минералах всегда отсутствовали.

Поступило
9 XII 1958

В. Е. КУМАН

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАТРОВОГО МЕТАСОМАТОЗА В КРИВОРОЖСКОМ БАСЕЙНЕ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 28 XI 1958)

В пределах Криворожского железорудного бассейна натровый метасоматоз наиболее развит в северной его части (в районах рудников «Имени 1 Мая», «Анновка» и «Желтая река»), а также в пределах Саксаганской синклинали. Кроме того, развитие натрового метасоматоза установлено в породах Тарапако-Лихмановского антиклинала.

Область натрового метасоматоза в пределах рудников «Желтая река», «Анновка» и «Имени 1 Мая» по своему характеру определяется как зона преимущественно сплошного натрового метасоматоза (или метасоматоза пропитывания). Метасоматическому замещению, которое здесь идет широким фронтом, подвергаются различные минералы (кварц, кальцит, магнетит), в результате чего образуются альбит и щелочной амфибол.

Южнее, в пределах Саксаганской синклинали, продуктом натрового метасоматоза являются эгирин и щелочной амфибол. На этом участке натровый метасоматоз носит характер послойного, избирательного, так как метасоматическому замещению подвергается породообразующий куммингтонит, распределяющийся в основном послойно.

Еще южнее отмечена область развития натрового метасоматоза в железистых кварцитах Тарапако-Лихмановского антиклинала, однако о характере метасоматических проявлений на этом участке не было почти никаких данных. Правда, в некоторых работах упоминалось о прожилках щелочного амфибола из шахты им. Калинина и приводились некоторые данные по кристаллооптике и химическому составу крокидолита (¹).

Как выяснилось в результате геологоразведочных работ, производившихся при непосредственном участии и под руководством автора, натровый метасоматоз Тарапако-Лихмановского антиклинала имеет характерные особенности.

В подземных выработках шахты им. Калинина нами зафиксировано 15 жил щелочного амфибола, представляющего собой минерализованные полости сбросо-сдвигов, которые секут восточное крыло антиклинала и загибаются по направлению к его осевой части.

Простирание жил субширотное, почти вкрест простиранию антиклинала, падение крутое, до вертикального в направлении к юго-юго-востоку, реже к северо-северо-западу.

По простиранию жилы прослежены квершлагами на расстояние до 50 м, а буровыми скважинами — до 200 м.

По падению жилы прослежены до 60 м; они, несомненно, продолжают дальше на глубину.

Мощность жил колеблется в пределах от < 1 мм до 2—3 см; местами встречаются раздувы мощностью до 10—30 см (выполненные полости приоткрытия).

Щелочной амфибол — синего цвета, представлен массивным или рыхлым агрегатом с матовым блеском, тонкозернистым агрегатом, дающим

пластинчатые отдельности с шелковистым блеском; присутствует также в виде волокнистых агрегатов.

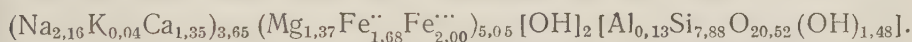
Все указанные морфологические разновидности минерала встречаются совместно, в одной жиле, одна из этих разновидностей может доминировать на определенном участке.

Оптические константы щелочного амфибола характеризуются следующими данными: $N_g = 1,694 \pm 0,002$; $N_p = 1,690 \pm 0,002$; $N_g - N_p = 0,004$; $2V = -80^\circ$. Плеохроизм: по N_g — темно-синий, по N_m — синий, по N_p — желтовато-бурый. Удлинение отрицательное, угол угасания относительно удлинения $3 - 5^\circ$.

По химическому составу щелочной амфибол жил близок к рибекиту (несколько более магнезиален) и отличается от наиболее распространенного в бассейне родусита, образовавшегося метасоматически за счет кумингтонита ⁽²⁾.

Ниже приводится сопоставление химических составов щелочных амфиболов (см. табл. 1).

Кристаллохимическая формула жильного щелочного амфибола, рассчитанная по методу В. С. Соболева:



Наиболее существенное различие в химическом составе сопоставляемых минералов заключается в соотношении главных изоморфно замещающих друг друга окислов: для жильного щелочного амфибола и рибекита $\text{Fe} > \text{MgO} < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; для родусита, наоборот, $\text{FeO} < \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.

Термические анализы щелочного амфибола (аналитик Л. Рыбакова, пирограф конструкции Ф. В. Сыромятникова) выявили эндотермический эффект в пределах $930 - 953^\circ$ (рис. 1), вызванный выделением конституционной воды и разложением жильного щелочного амфибола.

Рентгеноструктурные анализы (аналитик Г. Сидоренко) показали, что структура жильного щелочного амфибола идентична структуре капского крокидолита (Южная Африка).

По результатам произведенных определений и анализов жильный щелочной амфибол отнесен нами к изоморфному ряду рибекит — родусит (ближе к рибекиту) и назван магний-рибекитом, а его волокнистая разновидность — магний-крокидолитом.

Описанные выше жилы щелочного амфибола обычно сопровождаются щелочно-амфиболовой минерализацией, идущей двумя путями: во-первых, по трещинам оперения, дробления, кливажу и трещинам отдельности абсолютно без признаков натрового метасоматоза во вмещающих породах, если последние в своем составе не содержали магнезиально-железистых амфиболов, и, во-вторых, метасоматическим пу-

Таблица 1

Компоненты	Жильный щелочной амфибол (среднее по 8 пробам)	Рибекит ⁽²⁾	Родусит ⁽²⁾
SiO_2	52,10	52,24	54,61
TiO_2	—	сл.	0,08
Al_2O_3	0,74	0,43	0,38
Fe_2O_3	17,66	15,83	15,95
FeO	13,37	19,19	3,56
MnO	—	0,03	0,07
MgO	6,03	2,00	15,20
CaO	1,35	1,78	2,55
Na_2O	7,40	5,00	4,51
K_2O	0,04	0,80	0,52
$\text{H}_2\text{O} +$	1,32	—	—
$\text{H}_2\text{O} -$	0,26	0,23	0,18
CO_2	0,36	—	—
П.п.п.	—	2,72	2,26
	100,0	100,32	99,87

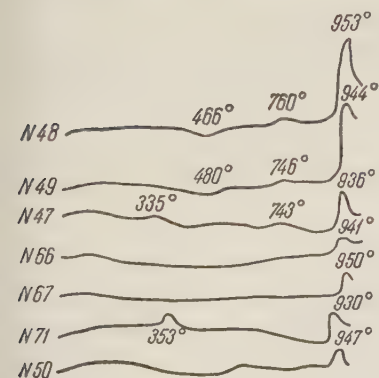


Рис. 1. Термограммы жильного щелочного амфибола

тем по прослойкам породообразующего магнезиально-железистого амфибола (куммингтонита).

Макроскопически железистые кварциты, подвергшиеся натровому метасоматозу, отличаются синим оттенком. Под микроскопом в таких породах наблюдается зональное окрашивание в синий цвет магнезиально-железистого амфибола (куммингтонита), вследствие метасоматического «ощелачивания» вблизи жилы щелочного амфибола (рис. 2 и 3, см. вклейку к стр. 1005).

Мощность зоны околотрещинного изменения пород — от нескольких сантиметров до 10—12 м. Такой характер проявления натрового метасоматоза позволяет квалифицировать его как околотрещинный.

Таким образом, в целом по Криворожскому бассейну по интенсивности натрового метасоматоза в железистых кварцитах устанавливается определенная последовательная зональность: зона сплошного натрового метасоматоза, для которой характерными натровыми минералами являются альбит и щелочной амфибол; зона послойного избирательного метасоматоза с эгирином и щелочным амфиболом; зона околотрещинного метасоматоза, для которой характерным натровым минералом является только щелочной амфибол.

Такая зональность установлена по резко преобладающему характеру метасоматоза в той или иной зоне. Так например, магний-крокидолитовые жилы встречались нами во всех зонах, а элементы послойного избирательного метасоматоза встречены и в самой северной зоне сплошного метасоматоза.

Увеличение интенсивности натрового метасоматоза по направлению к северу совпадает с направлением усиления общего метаморфизма пород криворожской серии и с усилением интенсивности магматических проявлений. По-видимому, это свидетельствует о гидротермальной природе растворов, вызвавших натровый метасоматоз.

Фронт натрового метасоматоза двигался к югу с северной части Криворожского бассейна, которая в продолжение всей докембрийской (возможно частично и послекембрийской) истории формирования бассейна оставалась зоной наиболее тектонически ослабленной и подверженной магматическим и пневматолито-гидротермальным воздействиям.

Поступило
27 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. П. Никольский, Сов. геол., сборн. 50 (1956). ² Ю. Ир. Половинкина, Минералог. сборн. Львовск. геол. общ., № 7 (1953).

В. Д. КОГАН

К ГЕНЕЗИСУ САМОРОДНОЙ СЕРЫ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 26 XII 1958)

На вопрос о происхождении месторождений осадочной серы существуют различные взгляды (^{1,4-9}) и др.). Большое место при этом уделяется выявлению возможности образования серной руды за счет восстановления гипса и замещения его серой и кальцитом *in situ*. В свое время Б. П. Кротов и Л. М. Миропольский (³) указывали на наличие морфологического сходства включений серы в известняках Р₁ Поволжья с включениями в них ангидрита.

Проведенное нами изучение серных руд и вмещающих пород Гаурдака позволяет подойти к решению этого вопроса с других позиций.

При изучении акцессорных минералов известняков и гипсов (ангидритов), вмещающих серные руды, было выяснено, что акцессории этих двух групп пород отличаются друг от друга (табл. 1).

Серные руды Гаурдака можно разделить на две большие, примерно равные, группы. В I группе сера представляет собой зерна или хорошо ограниченные кристаллы, их сростки различной величины (от 0,5—1 мм до 2—5 см и более), выполняющие поры, каверны и трещины вместе с кальцитом. Причем характерно, что сера приурочена преимущественно к нижней части полостей, а кальцит — к верхней. Во II группе (так называемые дисперсные руды) сера в виде мелких зерен (десятые и сотые доли миллиметра) образует тонкое срастание с кальцитом. Обычно эти руды имеют тонкую слоистость, часто напоминающую слоистость в гипсах и ангидритах.

Относительно эпигенетичности I группы руд у исследователей (^{1,2,4-7}) нет разногласий. Генезис II группы руд представлялся неясным. Для выяснения этого вопроса было сделано следующее предположение.

Если часть серных руд образовалась за счет замещения гипса, а другая — за счет замещения известняков, то в таком случае: 1) акцессорные минералы I группы должны быть сопоставимы с акцессориями гипсов; 2) акцессории II группы руд должны сопоставляться с акцессориями известняков.

Для проверки этого предположения были получены нерастворимые остатки гипса, ангидрита (растворением в 20% лимоннокислом аммонии), различных типов руд и известняков (растворением в 3% соляной кислоте). Большинство акцессорных минералов, за исключением гипса, ангидрита, целестина, кварца, сульфидов и гидроокислов железа, составляют лишь десятые и сотые доли процента соответствующей фракции, а некоторые присутствуют лишь в виде единичных зерен. Приводимое ниже сопоставление различных групп акцессорных минералов имеет качественный характер. При сопоставлении из нерастворимого остатка исключалось содержание в нем серы, кальцита, гипса. Сопоставление минералов тяжелой фракции проводилось без учета количества целестина, содержание которого может сопоставлять единицы процентов от всей массы породы, иногда до 5—7%. Однако следует отметить, что содержание его в гипсе в общем в 2—3 раза меньше, чем в руде. Результаты сопоставления приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Минерал	Гипс и ангидрит	Группа руды		Известняк
		I	II	
Доломит	+++++	++	—	—
Кварц (кристаллы и агрегаты)	++++	+++++	++	++
Халцедон, кварцин, опал	++	++	+	+
Целестин	+++++	+++++	+++++	+++++
Барит	—	—	++	++
Флюорит	+	+	+	+
Сукцинит	+	+	+	—
Кварц (окатанные зерна)	+++++	+++++	—	—
Плагноклаз	++	++	—	—
Вулканическое стекло	+++	+++	++	++
Анальцим	—	—	+	+
Пироксены	+++	+++	+	+
Амфиболы	++	++	+	+
Биотит	++++	++++	+	+
Мусковит	++	++	+	+
Хлорит	+++	+++	+	+
Хлоритоид	—	—	+	+
Дистен	+++	++	—	—
Ставролит	+	+	—	—
Корунд	+	—	—	—
Берилл (?)	+	++	—	—
Турмалин	++	+	—	—
Гранат	+	+	—	—
Циркон	++	+	—	—
Рутил	++	+	—	—
Анализ и титанит	+	+	+	+
Лейкоксен	+	+	—	—
Пирит и сульфиды меди	+	+	++++	++
Магнетит, титано-магнетит, ильменит	++	++	+	+

Примечания. 1. Жирным шрифтом выделены характерные минералы. 2. ++++ свыше половины фракции (до 80—90%), +++ около половины фракции (40—60%), ++ менее половины фракции (10—40%), + незначительное количество (1—10%), — единичные и редко встречающиеся зерна.

Приведенные данные полностью относятся к вмещающим породам (гипсам, ангидритам и известнякам). По аксессуарным минералам руды можно разделить на две группы. Одна характеризуется относительно небольшим общим количеством аксессуаров при их повышенном видовом разнообразии. К этой группе относится значительная часть (но не все!) дисперсных руд, единичные образцы первой из описанных выше групп руд.

Другая группа руд характеризуется относительно повышенным общим количеством аксессуаров, главным образом за счет целестина и сульфидов, при относительной бедности различными минералами. К этой группе относится большинство руд первой из описанных выше групп руд и часть второй.

Большое сходство аксессуаров гипса и части дисперсной руды особенно наглядно видно на ряде образцов, которые, судя по текстуре, несут следы постепенного метасоматического замещения гипса рудой и отобраны на контакте с таким расчетом, чтобы в один образец попали как гипс, так и руда. Исследование их показывает, что аллотигенные аксессуарии гипса и руды почти полностью тождественны. Возможность того, что минералы, обнаруженные в гипсе, попали в него за счет огипсования дисперсной руды, исключается по той причине, что гипсы, контактирующие с рудой, как по текстурным признакам, так и по комплексу аксессуарных минералов не отличаются от ангидритов, слагающих главную массу продуктивной толщи.

Обращает на себя внимание обогащенность гипсов (ангидритов) аксес-

сориями по сравнению с известняками. Причем очень часто пироксены и амфиболы имеют угловатую, частично идиоморфную форму. Последнее обстоятельство находит объяснение в том, что значительная часть этих минералов попадает в породу внутри чешуек мусковита (и биотита?). Предполагается, что обогащение гипса (ангидрита) акцессориями связано с условиями его накопления — более близким положением суши и более интенсивным привносом вещества. Во время отложения известняков бассейна, где они отлагались, был более удален от суши, а климат был более влажным.

Приведенный материал, наряду с другими (2), показывает, что по крайней мере часть дисперсных руд образовалась за счет непосредственного замещения (собственно метасоматоза) ангидритов (через гипсы) серной рудой. Это замещение происходит как по микротрещинам напластования (главным образом), так и по тектоническим микротрещинам.

Институт геологии
Академии наук ТуркмССР

Поступило
15 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Д а н о в, Об условиях образования месторождений серы в Средней Азии, 1936. ² В. Д. К о г а н, Изв. АН СССР, сер. геол., № 11 (1958). ³ Л. М. М и р о - п о л ь с к и й, Сера. Геология и полезные ископаемые ТАССР, Казань, 1940. ⁴ Н. П. П е т р о в, Зап. Узбекск. отд. Всесоюзн. минерал. общ., в. VIII, Ташкент (1955). ⁵ Н. П. П е т р о в, Зап. Узбекск. отд. Всесоюзн. минерал. общ., в. X, Ташкент (1956). ⁶ А. С. С о к о л о в, Сов. геол., № 5 (1958). ⁷ А. С. У к л о н с к и й, Парагенезис серы и нефти, Ташкент, 1940. ⁸ M. I. G o l d m a n, Deformation, Metamorphism and Mineralisation in Gypsum-anhydrite Cp-Rock, Sulphur Salt Dome, Louisiana, Geol. Soc. Am., Mem. 50, 1952. ⁹ W. F. H u n t, Econ. Geol., 10, № 6 (1915).

В. В. ЛОБАНОВА

РОЛЬ ПИРОКЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В ФОРМИРОВАНИИ СОЛЯНОЙ ТОЛЩИ ПОДНЯТИЯ ЗАПАДНЫЙ АЗГИР

(Представлено академиком Н. М. Страховым 26 XII 1958)

В юго-западной части Прикаспийской низменности располагается небольшое локальное поднятие Западный Азгир, известное также под названием горы Чапчачи. В геологическом отношении — это прорванный соляной купол. Каменная соль пермского возраста выходит на дневную поверхность в центральной части поднятия, а по периферии перекрывается известняками казанского яруса, галечниками, песками и глинами апшеронского возраста. В пониженных частях поднятия располагаются небольшие периодически пересыхающие соляные озера (соры), рапа которых имеет слегка повышенное содержание К, В, Вг. Если геологическое строение Западного Азгира освещено достаточно детально⁽¹⁾, то вещественный состав соляной толщи до последнего времени никем не изучался, и было принято считать, по макроскопическим данным, что она сложена каменной солью с ангидритом.

Петрографо-минералогическое изучение разрезов соляных пород Западного Азгира по кернам разведочных скважин, проведенных автором в 1956—1957 гг., привело к неожиданным и интересным результатам. Нами было установлено наличие пирокластического материала в виде прослоев и примеси в толще каменной соли. Эта находка пирокластического материала в соляных породах Прикаспийской низменности свидетельствует о том, что в пермском солеродном бассейне формирование галогенных отложений было связано в некоторых случаях с процессами вулканической деятельности и уже поэтому представляет несомненный интерес.

Туфогенный материал в соляном штоке Азгира образует прослой туф-фита мощностью до 1 м и более и широко распространен как примесь в каменной соли (до 15—20%). Макроскопически пирокластическая порода серого и зеленовато-серого цвета, плотная, обычно массивной текстуры, в отдельных случаях слоистая. Внешне похожа на ангидрит (за который ранее принималась), но отличается большой легкостью и характерными узловатыми стяжениями. Растворимые соли составляют около 40% (в основном галит, реже тенардит), остальная масса — пирокластический материал. Порода, следовательно, может быть названа туффитом. В воде она размокает и распадается на отдельные частицы. Нерастворимый в воде остаток этой породы был нами детально изучен. По гранулометрическому составу грубо-зернистая фракция составляет 7%, песчанистая 28%, алевритовая 25%, пелитовая 40%*. Под бинокулярной лупой видно, что фракции <0,25 мм сложены не отдельными зернами, а агрегатами мелких частиц, находящихся в белой мелкопористой тонкодисперсной массе, не растворяющейся в соляной кислоте. Изучение нерастворимого в воде остатка в иммерсионных препаратах показало, что главная масса ее представлена изотропным и полуизотропным пепловым материалом, в различной степени измененным и раскры-

* Гранулометрический анализ выполнен в ВНИИГ С. Ф. Ивановой.

сталлизованным с показателем преломления 1,524—1,530. В качестве примеси находятся обломки вулканического стекла, полевые шпаты, кварц. Из аксессуарных минералов присутствует слюда, роговая обманка, турмалин, циркон, апатит. Из аутигенных минералов — сирлезит $\text{NaBSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$, барит, карбонаты (кальцит, в очень малых количествах доломит), цеолиты, гиллебрандит $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Обломки вулканического стекла бесцветны, имеют самые разнообразные формы: серповидные, удлинённые копьевидные, сложно закрученные, иногда прямоугольные или неопределённой формы (рис. 1). В стеклах нередко наблюдаются пузырьки газа. Показатели преломления вулканического стекла чаще всего 1,543, иногда 1,530, что соответствует содержанию в нем SiO_2 55—60%.

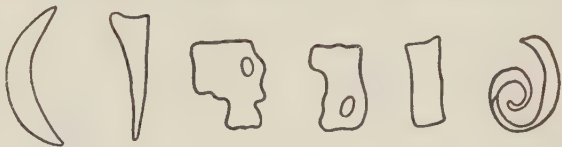


Рис. 1. Форма обломков вулканического стекла в туф-
фитах Западного Азгир

Полевые шпаты относятся в основном к щелочной группе (ортоклаз, анортоклаз; в значительно меньшей мере присутствуют кислые плагиокла-

зы, близкие к альбиту). Встречаются в виде таблитчатых характерных кристаллов или зерен неправильной формы. В ряде случаев у них наблюдается тонкое двойниковое полисинтетическое строение. Кварц присутствует в сравнительно небольшом количестве, имеет или идиоморфную форму (кристаллы с двумя головками), или овальную оплавленную и неопределённую. По петрографо-минералогической характеристике пирокластический материал приближается к составу щелочных магм (вероятно липаритов, являющихся аналогами щелочных гранитов). Характерно отсутствие основных плагиоклазов, преобладание калинатовых полевых шпа-

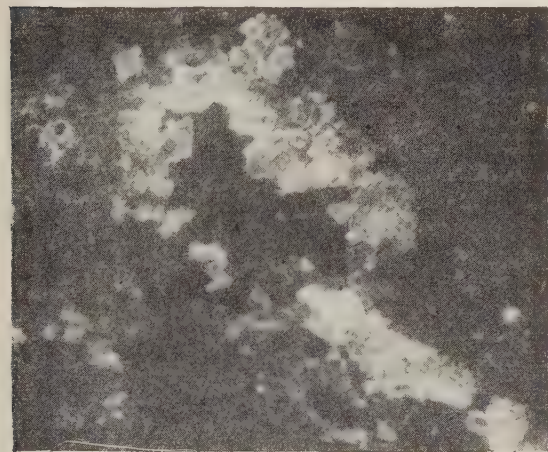


Рис. 2. Пример образования аутигенного сирлезита в одной из пустот туффита Западного Азгир. Скважина № 9а, глубина 140 м. Микрофотография. Никולי +.15X

тов, наличие цветных минералов — биотита и роговой обманки, сравнительно небольшое количество кварца. Это же подтверждается данными химического анализа (табл. 1)*.

Таблица 1

Силикатный анализ водонерастворимых остатков туффигов Азгир

	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	MnO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	B_2O_3	CO_2	SO_3	Cl	Σ
Скважина № 8 (129,0 м)	74,94	1,46	15,29	0,16	0,26	0,76	0,48	2,33	3,62	0,13	0,30	0,32	0,06	100,02
Скважина № 9а (1 2,0 м)	68,99	1,69	15,99	0,16	0,27	0,47	0,98	5,81	4,39	0,13	0,69	0,43	0,05	100,05
Скважина № 10а (127,0 м)	68,65	1,65	19,71	0,16	0,34	0,43	0,96	2,33	4,90	0,11	0,28	0,20	0,08	99,30

Отмечается резкое преобладание калия и натрия над кальцием, содержание SiO_2 составляет около 70% (однако большое его количество связано в алюмосиликаты). Изучение туффигов в шлифах, показало, что они сло-

* Анализ выполнен Е. Д. Ярушевич.

жены полуизотропной массой, в различной степени раскристаллизованной, а местами сохранившей явную витрофировую структуру. На фоне полуизотропной основной массы находятся отдельные зерна кварца, полевых шпатов, слюды, роговой обманки. Пустоты в породе заполнены галитом, реже тенардитом, а некоторые из них остаются незаполненными и в них развиваются секреты сирлезита (рис. 2).

Пирокластический материал, слагающий туффиты, находится также в виде примеси в каменной соли, и содержание его составляет от 2 до 20%. Наряду с этим имеются прослои чистой каменной соли без всяких примесей. Отмечаются постепенные переходы в вертикальном разрезе от туффита к каменной соли с примесью пирокластического материала и чистой каменной соли. В каменной соли главная масса сложена галитом, и пирокластический материал с примесью тонкозернистого карбоната располагается в промежутках между зернами и по контурам зерен галита. К скоплениям туфогенного материала приурочен сирлезит, развивающийся в пространствах между галитовыми зернами.

Наличие боросиликата сирлезита в соляной толще Азгира представляет большой интерес, хотя промышленного значения он и не имеет. Распространение этого минерала в пределах Западного Азгира очень велико, содержание его порядка 1—2% и достигает 6% как в каменной соли, так и в туффитах. Присутствием его и определяется повышенное содержание бора в соляной толще.

Как в туффитах, так и в каменной соли он встречается в виде хорошо образованных кристаллов размером 0,2—0,3 см, в которых господствуют грани призмы 110 в сочетании с гранями пинакоидов 100 и 001. Исключительно правильная форма кристаллов, их чистота, прозрачность, отсутствие всяких признаков разложения и нахождение сирлезита в форме секретов позволяют рассматривать последний как образование, возникновение которого обусловлено взаимодействием пеплового материала, несущего большое количество кремния и, вероятно, некоторое количество бора, со средой зоны осадкообразования, богатой натрием.

Сирлезит — минерал очень редкий. Он известен лишь в месторождениях вулканогенно-осадочного типа Калифорнии и Невады, где он находится в парагенезисе с пирсонитом, галитом, троней. Он характерен для бороносных провинций вулканогенно-осадочного типа. У нас в Союзе — это первая находка сирлезита. Наличие сирлезита в соляной толще Азгира хотя и имеет только минералогическое значение, но представляет очень большой генетический интерес в вопросах условий накопления бора в галогенных месторождениях. Наличие сирлезита указывает на то, что бор уводится из рапы солеродного бассейна даже в начальную стадию садки галогенных отложений при наличии благоприятных физико-химических условий. В данном случае имела место сильно щелочная среда, богатая кремнеземом, и, возможно, повышенное содержание бора в рапе за счет привноса его пепловым материалом.

Барит, встречаемый в туффитах Азгира, также является минералом, присутствие которого связано с наличием в солеродном бассейне туфогенного материала, принесшего барий. В нормальных соляных отложениях барит никогда не встречается. Здесь он находится в виде округлых образований типа сферолитов желтовато-бурого цвета, диаметром около 0,25 мм. Сферолиты барита имеют примесь тонкозернистого кальцита. Заслуживает внимания также наличие в туффите и каменной соли минерала группы цеолита с показателями преломления $N_g = 1,475$ и $N_p = 1,471$, оптически двуосного, отрицательного; погасание — косое. Под бинокулярной лупой видны кристаллы призматического облика, состоящие из отдельных пластинок, наложенных друг на друга. Размер кристаллов 0,2—0,3 мм. По оптическим свойствам и строению этот минерал близок к цеолитам.

Наконец, в соляных породах Азгира встречен еще один минерал, присутствие которого совершенно необычно для галогенных отложений; это каль-

циевый силикат — гиллебрандит. Этот минерал находится в каменной соли и туффите в виде тонких игольчатых образований, включенных в зерна галита и сирлезита. Он легко растворяется в соляной кислоте, показатели преломления $N_g = 1,612$, $N_p = 1,605$, оптически двуосный, отрицательный.

Заслуживает также внимания то обстоятельство, что карбонаты, встречающиеся в туффите и каменной соли, представлены в основном кальцитом, в то время как обычно для отложений каменной соли даже в период начальной стадии садки характерно присутствие доломита.

Для полной характеристики соляной толщи Западного Азгира необходимо еще отметить наличие тенардита в виде примеси и прослоев тенардитовой породы в каменной соли. Наличие тенардита в соляной толще указывает на щелочной характер среды солеродного бассейна. Существует еще одна особенность соляной толщи Западного Азгира — практическое отсутствие ангидрита, свидетельствующее о слабой насыщенности рапы по Са. Бедность рапы солеродного бассейна кальцием говорит о малом притока пресных вод с континента; об этом же свидетельствует почти полное отсутствие терригенного материала в каменной соли.

Таким образом, соляная толща Западного Азгира является примером формирования пород в солеродном бассейне при непосредственном участии пирокластического материала, присутствие которого наложило своеобразный отпечаток на аутигенный комплекс минералов в соляной толще. Наряду с галитом, тенардитом и карбонатами присутствуют сирлезит, гиллебрандит, барит и цеолиты, наличие которых обусловлено процессами взаимодействия соляных растворов с пирокластическим материалом.

Поступило
23 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. С. К о р о б о в, Тр. Всесоюзн. научно-иссл. инст. галургии, 35 (1958).

Ч. М. ХАЛИФА-ЗАДЕ и С. М. АББАСОВА

ШАМОЗИТОВЫЕ ГЛИНЫ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ КИМЕРИДЖА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

(Представлено академиком Н. М. Страховым 26 XII 1958)

В пределах юго-восточного Кавказа к кимериджскому ярусу относятся отложения, имеющие кремнистый облик и обладающие серовато-зеленым и зеленовато-оливковым цветом.

Породы этого яруса развиты в осевой и приосевой части Дибрарской геосинклинали и залегают трансгрессивно на различных горизонтах сероцветной песчано-глинистой толщи доггера. Вверх по разрезу зеленовато-

Таблица 1

Распределения Fe, Сорг и CO₂ в породах кимериджа юго-восточного Кавказа

Район и порода	Fe _{общ}	Fe _{пир}	Fe _{раств}	Сорг	CO ₂
Джимичай					
Светло-зеленый мелко-зернистый песчаник	7,50	—	5,33	0,015	—
Серовато-зеленый глинистый алевролит	8,11	—	6,60	0,13	—
Зеленый алевролитистый аргиллит	10,53	0,017	8,16	0,34	0,25
Бабачай					
Оливково-зеленый песчаник	6,25	—	4,23	0,080	3,45
Зеленый глинистый алевролит	12,31	—	10,50	0,31	0,80
Темно-зеленый аргиллит	14,03	0,15	12,43	0,43	—

серые осадки кимериджского яруса литологически резко сменяются красноцветной глинистокарбонатной толщей титона.

Мощность осадков кимериджа рассматриваемого региона колеблется в пределах 180—200 м и литологически представлена зеленовато-серыми песчаниками, оливково - зелеными алевролитами и зелеными сильно алевролитистыми аргиллитами. Изредка встречаются прослои гравиллитов

и конгломератов, которые в основном сложены гальками глинистых сланцев лейаса, доггера и известняков лузитана. Отложения кимериджского яруса в пределах юго-восточного Кавказа имеют флишевое строение («дикий» флиш) и принадлежат фациям песчаноалевритовых и реже алевроитоглинистых осадков прибрежной части мелководного моря.

Результаты микроскопического изучения глинистых пород этого яруса показали большую примесь песчано-алевритового материала (25—40%), который представлен кварцем (60%), полевыми шпатами (20%) и обломками различных пород (15%). Из второстепенных терригенных примесей отмечаются отдельные чешуйки слюд и хлоритов, а также единичные зерна сфена, циркона и турмалина.

Из аутигенных минералов установлены скрытокристаллическая модификация кремнезема (10%) и несколько чешуек глауконита.

Дисперсная глинистая масса (в шлифах, при больших увеличениях) сложена тонкими умеренно поляризующими чешуйками гидрослюды, сцементированными слабо поляризующим зеленым чешуйчатым минералом.

Тонкий зеленый чешуйчатый минерал, также развит (в меньшей степени) в цементирующей массе песчаников и алевролитов, придавая им различные оттенки зеленого цвета. В цементе песчано-алевритовых пород также резко возрастает количество более крупных глауконитоподобных чешуек и скрытокристаллической модификации кремнезема.

По данным А. Г. Алиева и В. П. Акаева (²), зеленый цвет глинистых и песчано-алевролитовых пород кимериджского яруса обусловлен наличием хлоритового вещества.

В тонкой фракции аргиллитов, которая получена после их обработки 5% HCl, обнаружены только следы зеленых чешуйчатых минералов, что натолкнуло на мысль о сильном разложении их под действием слабой HCl.

Поэтому для выяснения природы тонкого зеленого чешуйчатого минерала получены по методу Э. С. Залманзон (³) солянокислые вытяжки из различных петрографических типов пород кимериджа и определены содержания растворимого железа (табл. 1). Кроме того, в этих породах изучены также содержания общего и пиритного железа, $C_{орг}$ и CO_2 .

Все изученные породы характеризуются высоким количеством растворимого железа и почти полным отсутствием CO_2 и пиритного железа. Это ясно указывает на то, что высокое содержание закисного железа связано с его легко разложимым водным силикатом — шамозитом.

Основную массу (~80%) общего железа в глинах кимериджа составляет растворимое железо (10—12%), что позволяет утверждать, что эти глины примерно на 35—40% сложены шамозитом.

Попытка извлечения шамозита из кимериджских аргиллитов (путем центрифугирования и с помощью тяжелых жидкостей) не дала ожидаемых результатов. Показатель преломления чешуек шамозита 1,625; 1,630.

Для подробной характеристики шамозит-гидрослюдистых глин кимериджского яруса нами изучены рентгеновским, термическим и химическим методами их тонкие фракции, полученные после обработки исходного материала слабой соляной кислотой.

Результаты рентгеновского анализа тонкой фракции трех образцов приведены в табл. 2. Дифракционная картина изученных образцов в целом характерна для гидрослюды, за исключением слабых* рефлексов (001) и (002) со значениями d 7,06; 7,15; 7,10 Å и 3,52; 3,58; 3,56 Å, которые характерны для шамозитов каолинитового типа.

Кривые нагревания тонких фракций четырех образцов кимериджских глин (рис. 1) также имеют гидрослюдистый облик. На присутствие шамозита указывает экзотермический эффект в пределах 300—400°, обусловленный окислением закисного железа. Одна резко выраженная эндотермическая реакция в пределах 550—580° говорит о том, что эндотермические эффекты, вызванные удалением гидроксильной воды шамозита и гидрослюды, накладываются друг на друга. Более высокотемпературный эндотермический эффект при 650 и 740° связан с небольшой примесью гидрослюды гидромусковитного типа. Экзотермический эффект при 760° (рис. 1, 3), видимо, обусловлен примесью шамозита хлоритового типа. Резкие отклонения термических кривых 3 и 4 вниз от первоначального положения можно объяснить изменением теплопроводности образцов после удаления гидроксильной воды.

Полному силикатному анализу подвергнуты тонкие фракции четырех образцов; результаты исследования приведены в табл. 3. Все образцы характеризуются завышенным количеством FeO. Тонкая фракция образца

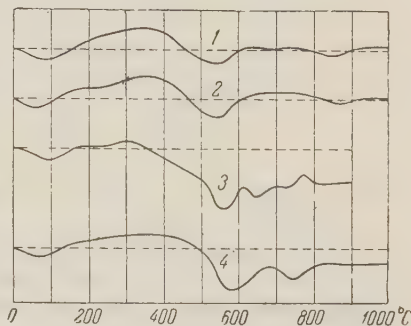


Рис. 1. Кривые нагревания шамозит-гидрослюдистых глин кимериджа юго-восточного Кавказа. 1 — образец № 32 (Джимичай), 2 — образец № 33 (Джимичай), 3 — образец № 2 (Джимичай), 4 — образец № 56 (Бабачай)

* Слабая интенсивность рефлексов связана с малым количеством шамозита, который разлагался в результате обработки глин слабой соляной кислотой.

Таблица 2

Межплоскостные расстояния шамозит-гидроослюдистых глин кимериджа
юго-восточного Кавказа

Бабачай		Джимичай				Бабачай		Джимичай			
обр. № 56		обр. № 3		обр. № 4		обр. № 3		обр. № 3		обр. № 4	
<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å	<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å	<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å	<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å	<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å	<i>l</i>	<i>d_{hkl}</i> , Å
3	7,06	4	7,15	3	7,10	8	1,95	1	1,90	3	1,90
—	—	—	—	3	5,05	6	1,79	3	1,80	—	—
6	4,48	8 ш	4,53	8 ш	4,53	7	1,65	6 ш	1,65	7	1,66
—	—	6 ш	3,73	6 ш	3,73	2	1,53	2	1,53	—	—
2	3,63	—	—	—	—	7	1,49	10	1,49	10	1,50
3	3,52	3	3,58	2	3,56	1	1,42	2	1,43	2	1,43
10	3,30	8 ш	3,34	8 ш	3,35	5	1,36	3	1,37	3 ш	1,37
3	3,18	2	3,21	3 ш	3,04	5	1,29	8 ш	1,29	6 ш	1,30
1	2,80	—	—	3	2,86	2	1,24	2 ш	1,25	3 ш	1,24
9	2,54	8 ш	2,57	8 ш	2,58	2	1,19	2	1,19	2	1,18
1	2,36	2	2,46	2	2,40	—	—	—	—	6 ш	1,08
—	—	2 ш	2,12	3	2,25	—	—	—	—	3 ш	1,03
—	—	2 ш	1,99	6 ш	1,99	—	—	—	—	—	—

№ 40, которая получена без применения кислотной обработки, содержит около 12% закисного железа, что указывает на присутствие большого количества шамозита (35—40%) в глинах кимериджа. Высокое содержание SiO_2 (71,21%) в образце № 33 объясняется примесью (около 30%) свободного кремнезема. Остальные компоненты без дополнительного пояснения характеризуют различные модификации гидроослюды.

Впервые Г. В. Бриндли⁽⁹⁾, обстоятельно изучивший структуру различных типов шамозитов, указал на их широкое распространение в глинах различной геологической системы. Шамозитовые глины описаны также А. М. Ратеевым⁽⁴⁾ из девонских отложений русской платформы.

Однако анализ фактического материала показал, что, несмотря на существование благоприятного условия для образования шамозита в отложениях гумидного и переходного типа седиментогенеза, этот материал не имеет

Таблица 3

Химический состав тонких фракций из глинистых и алевроито-глинистых пород кимериджа юго-восточного Кавказа

Компонент	Обр. № 56, Бабачай фр. <0,001 мм		Обр. № 33, Джимичай фр. 0,01—0,001 мм		Обр. № 1, Джимичай фр. < 0,001 мм		Обр. № 40*, Бабачай фр. <0,001 мм	
	вес. %	мол. кол.	вес. %	мол. кол.	вес. %	мол. кол.	вес. %	мол. кол.
SiO_2	52,06	0,866	71,21	1,168	51,89	0,863	53,06	0,883
TiO_2	0,16	0,002	0,56	0,009	—	—	0,30	0,004
Al_2O_3	27,06	0,265	9,91	0,086	24,80	0,243	21,05	0,207
Fe_2O_3	4,99	0,031	1,50	0,009	4,28	0,026	3,15	0,019
FeO	2,11	0,029	5,24	0,073	6,00	0,083	11,45	0,159
MgO	1,34	0,033	—	—	2,34	0,058	2,41	0,059
CaO	0,41	0,007	2,00	0,036	—	—	0,66	0,012
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—
K_2O	2,81	0,029	4,01	0,045	0,86	0,009	1,30	0,013
Na_2O	0,63	0,006	—	—	0,67	0,006	0,50	0,008
H_2O^+	5,80	0,320	4,34	0,240	5,87	0,326	6,01	0,321
H_2O^-	2,81	0,150	0,24	0,013	2,56	0,142	3,05	0,163
Σ	100,18		99,83		99,77		99,93	

* Выделение тонкой фракции производилось без предварительной обработки HCl .

широкого распространения. Поэтому справедливо отмечает Н. М. Страхов⁽⁵⁾, что в отложениях гумидной зоны не всегда удастся выделить лептохлоритовую фацию,— часто породы красноцветных отложений резко переходят в сероцветную сидеритовую фацию. Правильно также указание Н. М. Страхова на то, что для образования лептохлоритов наряду с благоприятными геохимическими условиями необходимо наличие определенного количества * Al_2O_3 и SiO_2 в грунтовых растворах.

Выше мы установили, что аргиллиты кимериджского яруса юго-восточного Кавказа сложены гидрослюдой и шамозитом, которые имеют различное происхождение. Гидрослюды, по-видимому, связаны с глинистыми породами областей размыва, которые сложены сланцеватым аргиллитом доггера и известняками лузитана**. Гидрослюдистый состав аргиллитов средней юры обстоятельно доказан^(6, 8).

Таким образом, гидрослюды из аргиллитов кимериджа генетически связаны с среднеюрскими глинистыми породами и образовались за счет их размыва и переотложения в прибрежно-мелководном бассейне.

Шамозит имеет другой генезис. Он образовался хемогенным путем в стадии диагенеза глинистых отложений. Низкое количество $C_{орг}$ в породах кимериджа (см. табл. 1) говорит о существовании в момент диагенеза рыхлого осадка нейтральной и слабо восстановительной среды, что благоприятствовало развитию лептохлоритовой фации. Железо поступало в кимериджский бассейн с прилегающей суши в окисной форме в виде механических взвесей.

Глинозем и кремнезем, израсходованный на образование шамозитов, имеет вулканическое происхождение. По данным А. А. Ализаде⁽¹⁾, в пределах северо-восточной части Малого Кавказа начало кимериджского века ознаменовалось вспышкой вулканической деятельности. Об этом свидетельствует широкое распространение эффузивно-осадочных пород в этом регионе, которые нередко фациально замещаются известняками, содержащими богатую кимериджскую фауну. Вулканическая деятельность, видимо, имела место на прилегающей суше, расположенной в районе Куринской депрессии.

Из этой суши кимериджские осадки юго-восточного Кавказа систематически обогащались вулканогенной пылью, содержащей достаточное количество Al_2O_3 и SiO_2 .

В заключение следует подчеркнуть, что шамозитовые глины в кимериджских отложениях юго-восточного Кавказа распространены широко. В стадии диагенеза осадков они образовали устойчивую лептохлоритовую (шамозитовую) геохимическую фацию.

Региональный переход в отложениях юрской системы юго-восточного Кавказа сероцветной сидеритовой фации⁽⁷⁾ доггера в лептохлоритовую фацию кимериджа и затем в красноцветную гетит-гидрогетитовую — титона обусловлен резким изменением типа осадочного процесса.

Геологический институт
Дагестанского филиала Академии наук СССР

Поступило
15 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Ализаде, Изв. АН Азерб. ССР, сер. геол.-геогр., № 5 (1958). ² А. Г. Алиев, В. П. Акаева, Петрография юрских отложений юго-восточного Кавказа, Баку, 1957. ³ Э. С. Залманзон и др., Бюлл. МОИП, отд. геол., в. 2 (1955). ⁴ А. М. Ратеев, Сборн. Вопросы минералогии осадочных образований. Львов, 1956. ⁵ Н. М. Страхов, Э. С. Залманзон, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1955). ⁶ Ч. М. Халифа-Заде, Докл. АН Азерб. ССР, № 9 (1957). ⁷ Ч. М. Халифа-Заде, ДАН, 114, № 4 (1957). ⁸ Ч. М. Халифа-Заде, ДАН, 120, № 3 (1958). ⁹ G. W. Brindley, Min. Mag., 29 (1951).

* Геохимия алюминия в осадочных породах в связи с генезисом лептохлоритов и других глинистых минералов будет рассмотрена в специальной работе.

** Об этом свидетельствует состав галек конгломератовых прослоев, встречающихся в отложениях кимериджа.

В. Ф. КАНАЕВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕЛЬЕФЕ ДНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРОЛИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 8 XII 1958)

В западной части Тихого океана, в районе экватора, располагается обширное понижение дна — Каролинская котловина, ограниченная на севере поднятием Каролинских островов (Каролинский вал), а на юге — поднятием островов Новой Гвинеи, Западных, Адмиралтейства, Новой Ирландии и Соломоновых. Основные черты рельефа дна этого района освещены в работах Хесса ⁽¹⁾ и Дитца ⁽²⁾. Характерной особенностью Каролинской котловины является наличие на ее дне меридиональных поднятий, одно из которых (вал Эаурипик) разделяет котловину на два бассейна — западный и восточный.

В 27-м рейсе экспедиционного судна Института океанологии АН СССР «Витязь» (начальник рейса В. П. Петелин, капитан И. В. Сергеев), выполнявшемся по плану Международного геофизического года с 20 III по 20 VI 1958 г., были проведены довольно подробные исследования рельефа дна в районе центральной части Каролинской котловины. В результате этих исследований были получены новые данные, существенно уточняющие рельеф дна этого малоизученного района.

Между Каролинскими и Западными островами были выполнены три меридиональных промерных галса по 142, 143,5 и 145° в. д., по которым составлены подробные профили дна. Северные части этих профилей пересекают массивное поднятие дна — Каролинский вал шириной 130—170 миль (рис. 1, профили I—III, участок 2). Сильно расчлененная вершинная поверхность вала располагается на глубине 1800—2500 м, возвышаясь, таким образом, над дном Каролинской котловины на 2000—2500 м. Северный склон Каролинского вала на глубине 4000—4800 м переходит в дно Марианской котловины, в пределах которой встречаются отдельные горы (рис. 1, профили II и III, участок 1). Севернее островов Эаурипик склон вала осложнен несколькими террасами, расположенными на глубине 2600, 3300, 4200 и 4700 м, шириной 4, 12, 5 и 2 мили соответственно. Над поверхностью Каролинского вала резко поднимаются многочисленные острова, рифы и подводные горы. В этом районе нами было обнаружено 10 подводных гор относительной высотой от 800 до 2000 м. Вершины некоторых из них располагаются на глубине менее тысячи метров (938, 671 и 243 м); крутизна склонов гор составляет 14—22°. Гора с наименьшей глубиной над вершиной 243 м (рис. 1, профиль I) находится в 85 милях северо-восточнее атолла Сорол (8°28' с. ш., 141°54' в. д.). Эта гора была исследована «Витязем» и названа нами горой Миклухо-Маклая по имени известного русского ученого, много лет работавшего на о. Новая Гвинея и в районе Каролинских островов. На навигационных картах Морского атласа ⁽³⁾ в этом месте имеются редкие отметки глубины 1500—1900 м, позволявшие предполагать наличие лишь небольшого поднятия дна.

Гора Миклухо-Маклая была детально промерена по нескольким пересекающимся галсам, на основании которых составлена батиметрическая

карта (рис. 2). Вершина горы представляет узкий широтно-вытянутый гребень. На эхограммах видно, что вершина горы имеет слабо расчлененные склоны крутизной от 12 до 40°. На южном склоне на глубине 500, 580 и 1075 м находятся небольшие площадки шириной 200—350 м. У южного подножия горы располагается желоб, плоское дно которого опущено на глубину 4378 м. Относительная высота горы над дном желоба составляет 4135 м. Положение вершины горы было определено по астрономическим наблюдениям. Проба донных осадков с вершины горы (глубина 312 м) представлена карбонатным материалом: коралловым песком, гравием и облом

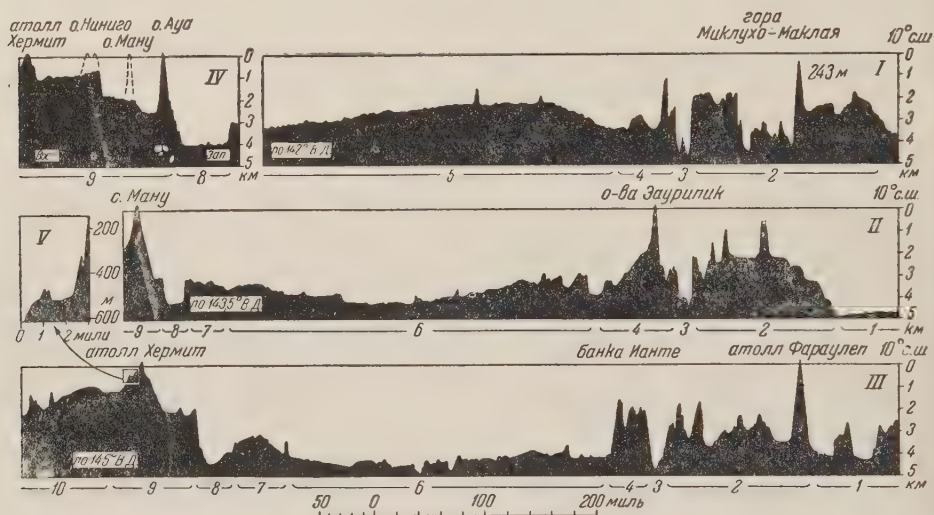


Рис. 1. Профили дна Каролинской котловины. Соотношение горизонтального и вертикального масштабов 1 : 37

ками известняка с ходами сверлящих моллюсков, а также большим количеством одиночных отмерших кораллов. Судя по всем данным, гора Миклухо-Маклая, подобно многим подводным горам Тихого океана, является погружившимся коралловым рифом на вулканическом основании. Аналогичное строение, вероятно, имеют и другие обнаруженные в рейсе горы.

Вдоль южного края Каролинского вала протягивается глубокий (4450—4700 м) и узкий (5—12 миль) желоб, который имеет расчлененное, а местами ровное дно (рис. 1, профили I—III, участок 3). Судя по данным 25-го рейса «Витязя» (4) и картам «Атласа мира» (5), этот желоб протягивается далее на запад между атоллом Сорол и островами Улити. Крутые склоны (20—25°) и почти прямолинейные очертания желоба позволяют говорить о его тектоническом происхождении. По-видимому, образование желоба связано с разломом, проходящим вдоль южного края Каролинского вала. Западная часть этого разлома около атолла Сорол была отмечена Хессом (1); новые данные позволяют протянуть линию разлома на восток до банки Ианте. Вдоль южного края желоба Сорол-Ианте располагаются отдельные острова, атоллы и подводные горы (рис. 1, профили I—III, участок 4), от подножия которых начинается дно Каролинской котловины.

Южная половина западного профиля (рис. 1, профиль I, участок 5) проходит вдоль гребня вала Заурипик, выровненная вершинная поверхность которого располагается на глубине 2200—2300 м, постепенно опускаясь к югу. Над валом поднимаются два пика относительной высотой 400 и 700 м. Дно западной части восточного бассейна (рис. 1, профили II и III, участок 6) имеет слегка вогнутую расчлененную поверхность с преобладающими глубинами 4500 м. Встречающиеся здесь небольшие холмы и впадины, а также уступы террас обычно имеют значительную крутиз-

ну. Ровные участки на дне Каролинской котловины имеют небольшие размеры.

Вдоль южного края восточного бассейна Каролинской котловины у подножия Западных островов был обнаружен узкий глубокий желоб длиной около 130 миль (рис. 1, профили I, II и IV, участок 8). Этот желоб мы предлагаем назвать Западно-Меланезийским. Плоское дно желоба находится на глубине 4100 м западнее о. Ауа и на глубине 4500 м севернее атолла Хермит. Ширина дна желоба уменьшается с запада на восток от 40 миль около о. Ауа до 10 миль около атолла Хермит. Оба склона желоба имеют значительную крутизну, например около о. Ману 20°. Вдоль север-

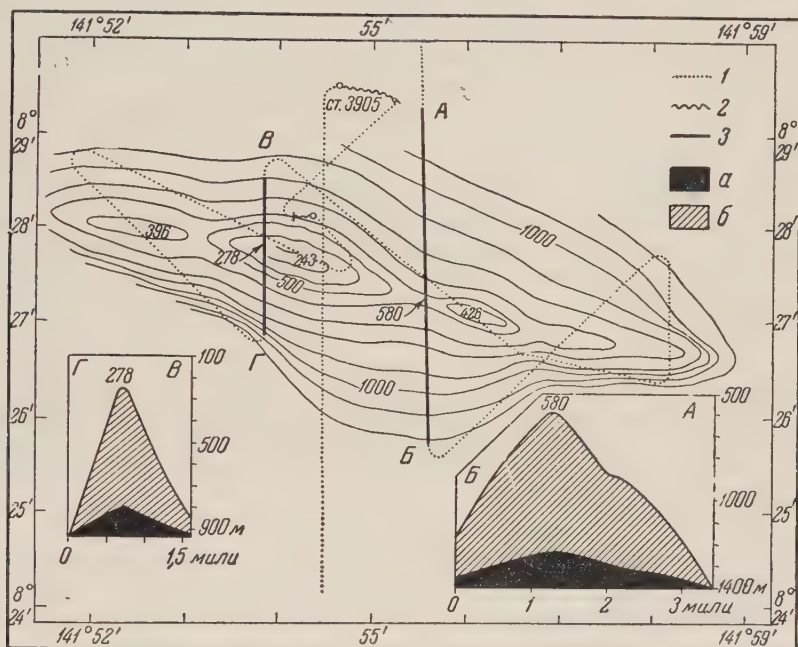


Рис. 2. Батиметрическая карта горы Миклухо-Маклая. 1 — промерные галсы, 2 — дрейф судна, 3 — положение профилей А—Б и В—Г; профили даны в двух соотношениях горизонтального и вертикального масштабов, а именно 1 : 1 для α и 1 : 5 для б

ного края Западно-Меланезийского желоба располагается поднятие высотой над дном желоба около 1000—1500 м. Можно предполагать, что Западно-Меланезийский желоб имеет тектоническое происхождение. Возможно, что на западе он соединяется с Ново-Гвинейским желобом, прослеживающимся вдоль берегов Новой Гвинеи.

Западные острова (Ауа, Ману, Ниниго, Хермит и др.) расположены у края погруженной Ново-Гвинейской отмели. Широтный профиль (рис. 1, профиль IV, участок 9) показывает наличие здесь трех четко выраженных ступеней на глубине 900—1200, 1900—2000 и 2600 м. У края первой ступени расположены острова Ниниго, у края второй — о. Ману и у края третьей ступени — о. Ауа. Профиль III (рис. 1) пересекает атолл Хермит, склоны которого имеют местами крутизну до 26°. На юго-западном склоне атолла на глубине 550—520 м имеется широкая терраса, поверхность которой наклонена от острова. На рис. 1 профиль V изображает эту террасу в более крупном масштабе. У бровки террасы располагается вал высотой 40 м и шириной около 1 км; у внутреннего края террасы, заходя на поверхность островного склона, находится второй вал высотой 120—50 м и шириной около 2 км. Проба донных осадков с поверхности террасы (обломки массивного известняка с ходами сверлящих животных), а также профили самой террасы и валов

на ней, свидетельствуют о том, что образование террасы связано с более низким уровнем моря, а находящиеся на ней валы, по-видимому, являются погружившимися коралловыми рифами. Южнее атолла Хермит располагается северная часть котловины Ново-Гвинейского моря (рис. 1, профиль *III*, участок *10*).

Анализ материалов по рельефу дна района Каролинской котловины позволяет наметить ряд характерных черт, общих для всего этого района. По периферии западной половины котловины у подножия островных склонов протягивается почти непрерывная цепочка желобов. К ним относятся желоба Сорол-Ианте, Западно-Меланезийский, Ново-Гвинейский, а также глубоководные желоба Японский и Палау. Рельеф дна Каролинской котловины в целом характеризуется значительной расчлененностью, обусловленной, по-видимому, тектоническими причинами (опускания дна). Наличие обширных ступеней — террас в районе Западных островов указывает на раздробление края погруженной Ново-Гвинейской отмели и опускание отдельных блоков. О значительных опусканиях в районе Каролинской котловины свидетельствуют погружившиеся горы, рифы и острова (гора Миклухо-Маклая, атолл Хермит и др.). Все это указывает на широкое распространение в описываемом районе тектонических форм рельефа, развитие которых продолжается, очевидно, до настоящего времени.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
15 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Н е s s, Bull. Geol. Soc. Am., 59, № 5 (1948). ² R. S. D i e t z, Bull. Geol. Soc. Am., 65, № 12, part 1 (1954). ³ Морской атлас, М., 1950. ⁴ Г. Б. У д и н ц е в, Данные по рельефу дна 25-го рейса экспедиционного судна Института океанологии АН СССР «Витязь», Изд. АН СССР, 1958. ⁵ Атлас мира, М., 1954.

Ю. П. НЕПРОЧНОВ

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД ЧЕРНЫМ МОРЕМ К ЮГО-ЗАПАДУ ОТ КРЫМА ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 8 XII 1958)

Вопросу происхождения и геологического развития Черноморской впадины посвящено много исследований. Основными исходными материалами служили при этом данные по геологии окружающих Черное море районов, колонки донных отложений и батиметрические карты. После А. Д. Архангельского и Н. М. Страхова⁽¹⁾ детальный анализ геологической истории впадины Черного моря на основе всех имеющихся материалов был произведен М. В. Муратовым⁽¹⁾. Проблема происхождения Черноморской впадины затрагивалась им и в более поздней работе⁽³⁾. Но до настоящего времени ряд вопросов геологического строения и происхождения впадины Черного моря остается открытым из-за недостатка фактических данных, в частности, не было еще сделано определений мощности и строения земной коры.

В этом сообщении приводятся результаты сейсмических исследований, проведенных Черноморской экспериментальной научно-исследовательской станцией Института океанологии АН СССР в сентябре 1957 г. с целью определения строения земной коры под Черным морем. Исследования были проведены под общим руководством Н. Н. Сысоева. Кроме автора, в морских работах принимали участие В. П. Гончаров, Г. Н. Щиплецов, М. Ф. Михно и др., а в обработке материалов — А. Ф. Непрочнова.

Район описываемых работ расположен к юго-западу от Крымского полуострова. Исследования велись методом преломленных волн. Взрывы зарядов весом от 0,4 до 130 кг производились со специального корабля. Регистрация взрывов осуществлялась на экспедиционных судах «Академик Вавилов» и «Академик Ширшов». Так как экспедиция располагала двумя, а на удаленных от берегов участках, из-за ограниченной мореходности судна «Академик Ширшов», — только одним регистрирующим судном, применялась методика регистрации в двух (обычно конечных) точках профилей при передвижном пункте взрыва. Такая методика неплохо зарекомендовала себя при проведении многочисленных региональных исследований США и Англией в Атлантическом и Тихом океанах⁽⁴⁾ и др.). В СССР во многом аналогичная методика с успехом использовалась при сейсмических исследованиях Института океанологии АН СССР в Тихом океане (1954 г.), Японском и Черном морях (1957 г.)⁽⁵⁻⁷⁾ и в работах междудементальной экспедиции на Каспийском море (1956 г.).

При исследованиях на Черном море регистрация в каждой точке велась двумя гидрофонами по двум независимым каналам; глубина погружения гидрофонов была 50—60 м. Способ подвески гидрофонов уже описывался в работе⁽⁷⁾. Каждый гидрофон был подключен к усилителям с полосой пропускания 5—15 гц (для регистрации преломленных волн), 10—50 гц (для регистрации отраженных волн) и 50—500 гц (для регистрации водных волн). Колебания записывались на фотобумагу осциллографом ПОБ-14. Очень благоприятно отразился на качестве сей-

смограмм тот факт, что судно «Академик Вавилов» имело возможность становиться на якорь при любой глубине моря, в результате чего устранялись помехи, связанные с дрейфом корабля. Местоположение судов уточнялось

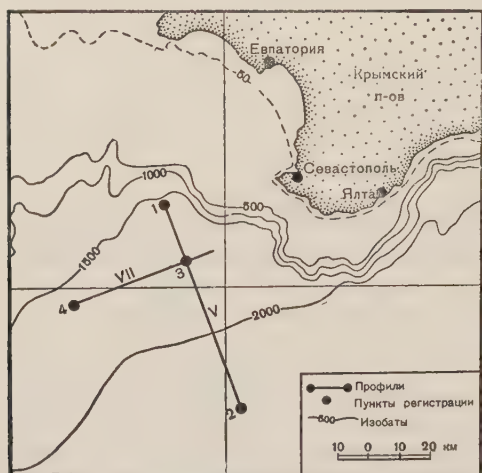


Рис. 1. Схема расположения сейсмических профилей

с помощью радиогеодезической аппаратуры. Взрывы производились по линиям профилей с интервалами 1—2 мили на ближних дистанциях и 3—5 миль — на дальних. Глубина взрывов изменялась от 30 до 100 м.

Здесь будут описаны материалы двух профилей (V и VII), проходящих за пределами материкового склона (рис. 1).

Глубина моря по профилю V изменяется от 1570 м (рис. 1, 1) до 2200 м (2); длина профиля около 130 км. На профиле получены встречные годографы предомкнутых волн (рис. 2). При корреляции использовались кинематические и динамические признаки волн. На сейсмограммах хорошо прослеживаются две

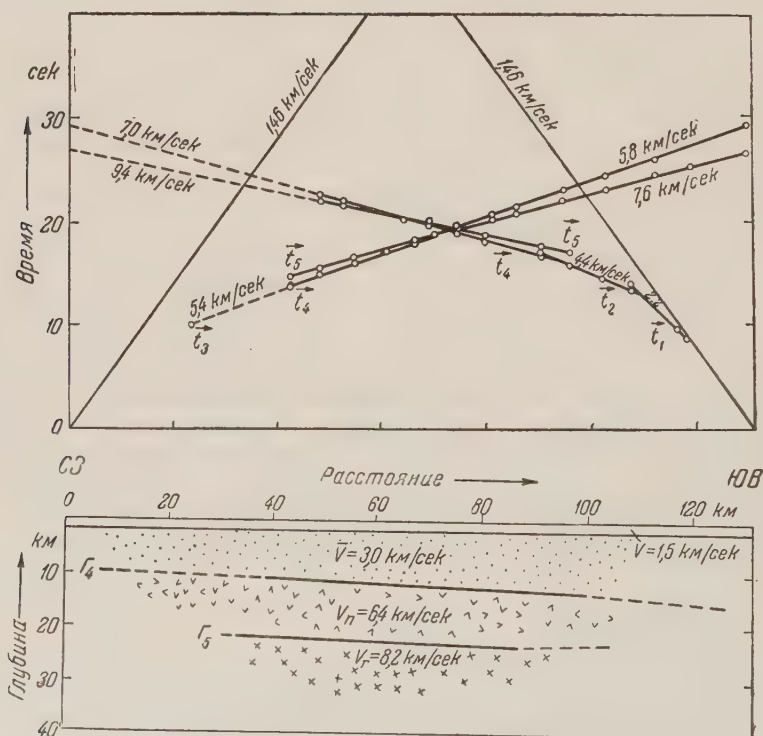


Рис. 2. Годографы и сейсмический разрез по профилю V

годографам волн t_4 и t_5 , приведен в нижней части рис. 2. Построения велись методом полей времен (8). При построении границы Γ_4 , соответствующей

волне t_4 , была выбрана средняя скорость в покрывающей толще (исключая водный слой) $\bar{V} = 3,0$ км/сек, определенная по точкам пересечения годографов волн t_3 и t_4 . Граница Γ_4 характеризуется скоростью распространения продольных сейсмических волн $V_r = 6,4 \pm 0,2$ км/сек, глубина ее залегания постепенно увеличивается от 10 км на северо-западном конце профиля до 16 км на юго-восточном конце. (Здесь и в других местах пунктиром показаны части границы, построенные с меньшей достоверностью — по неперекрывающимся участкам годографов.) При построении границы Γ_5 , соответствующей волне t_5 , было принято, что вышележащий пласт имеет постоянную скорость распространения сейсмических волн, равную граничной: $V_{\pi} = 6,4$ км/сек. Определено, что граница Γ_5 характеризуется скоростью

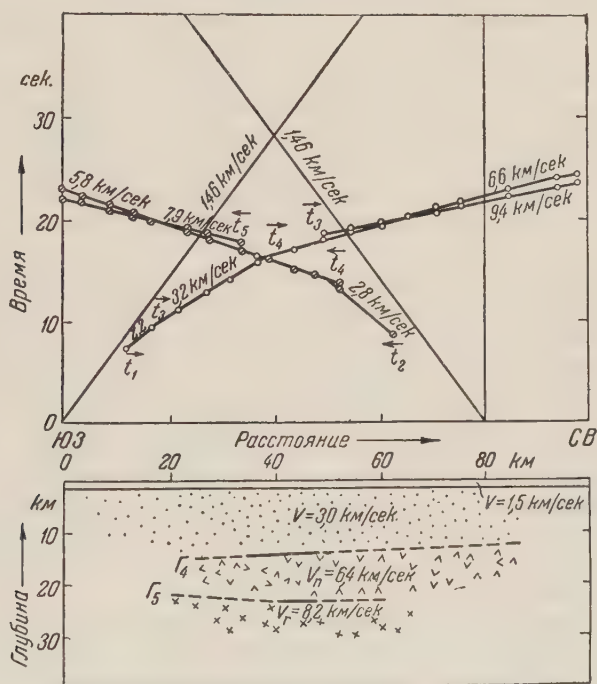


Рис. 3. Годографы и сейсмический разрез по профилю VII

$V_r \pm 8,2 \pm 0,2$ км/сек и залегает на глубине 22—24 км под поверхностью моря. Кроме волн t_4 и t_5 , на профиле \bar{V} выделяются также волны \bar{t}_1 кажущаяся скорость равна $V^* = 2,2$ км/сек, \bar{t}_2 ($V^* = 4,4$ км/сек) и \bar{t}_3 ($V^* = 5,4$ км/сек), связанные с границами раздела в толще с $V = 3,0$ км/сек. Однако для построения этих границ имеющихся материалов недостаточно.

Глубина моря по профилю VII изменяется от 1550 м (4) до 1800 м (3); длина профиля около 100 км. Здесь также получены встречные годографы преломленных волн (рис. 3). Материалы профиля VII во многом сходны с материалами профиля V. На профиле VII также хорошо прослеживаются волны t_4 и t_5 ; годографы этих волн увязываются во взаимных точках. Сейсмический разрез для профиля VII приведен на рис. 3. Значение средней скорости $\bar{V} = 3,0$ км/сек в толще, покрывающей границу Γ_4 , определено по точкам пересечения волн t_3 и t_4 и совпадает с соответствующим значением для профиля V. Граница Γ_4 имеет скорость $V_r = 6,4 \pm 0,2$ км/сек; глубина ее залегания равна 12—15 км (наклон на юго-запад). Вторая граница Γ_5 характеризуется скоростью сейсмических волн $V_r = 8,2 \pm 0,2$ км/сек. Глубина залегания этой границы в центральной части профиля равна около

24 км в юго-западном направлении глубина уменьшается. Границы, соответствующие волнам \vec{t}_1 ($V^* = 2,2$ км/сек), \vec{t}_2 ($V^* = 2,8$ км/сек) и \vec{t}_3 ($V^* = 3,2$ км/сек), как и на профиле V, построить нельзя из-за отсутствия встречных годографов этих волн на участках их прослеживания.

Совпадение экспериментальных значений скоростей распространения сейсмических волн для границы Γ_4 профиля V и границы Γ_4 профиля VII свидетельствует о том, что эти границы принадлежат одной поверхности раздела. Это подтверждается и удовлетворительным совпадением глубин границы Γ_4 в точке пересечения профилей. Аналогичное заключение можно сделать и для границы Γ_5 .

Учитывая результаты многочисленных определений скорости продольных волн сейсмическими методами в различных районах ⁽⁹⁾, нижнюю границу с $V_r = 8,2$ км/сек можно отнести к поверхности Мохоровичича (граница земной коры). Выше лежит пласт со скоростью $V_n = 6,4$ км/сек. Скорость такого порядка обычно имеет промежуточный (базальтовый) слой земной коры. Толща со средней скоростью сейсмических волн $\bar{V} = 3,0$ км/сек складается, по-видимому, осадочными породами. Типичного гранитного слоя на исследованных профилях не обнаружено. Возможно, он имеется лишь на северо-западном участке профиля V, где выделена волна с $V^* = 5,4$ км/сек. Для уточнения этого вопроса необходимо поставить более детальные исследования.

Сравнение полученных данных с известными результатами определений строения земной коры континентов и океанов (⁽⁹⁻¹¹⁾ и др.) показывает, что земная кора под Черным морем к юго-западу от Крымского полуострова существенно отличается от коры как континентального, так и океанического типа. Мощность земной коры здесь равна 22—24 км, т. е. меньше, чем на континентах, и больше, чем в океанических областях. По отсутствию гранитного слоя земная кора Черного моря ближе к океаническому типу, но имеет значительно большую мощность осадочной толщи (8—12 км).

Интересно отметить, что почти аналогичное строение земной коры получено для Мексиканского залива ⁽¹²⁾. Там также имеется мощный осадочный слой, покрывающий породы со скоростью сейсмических волн 6,2—6,4 км/сек, при общей толщине земной коры порядка 20 км.

Сейсмические данные о наличии под Черным морем осадочного слоя большой мощности подтверждают высказывания А. Д. Архангельского и Н. М. Страхова ⁽¹⁾, которые отнесли глубоководную впадину Черного моря к типичной геосинклинали, находящейся в стадии углубления. Опираясь на материалы по геологии прилегающих районов, М. В. Муратов подсчитал вероятную мощность осадочных пород в глубоководной впадине Черного моря как 7—8 км ⁽²⁾. По результатам сейсмических исследований получено несколько большее значение, причем наблюдается увеличение мощности осадков в южном и юго-западном направлении.

В заключение автор выражает большую благодарность Н. Н. Сысоеву за постоянное внимание и помощь при проведении работ, а также всем участникам экспедиции.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
2 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Д. Архангельский, Н. М. Страхов, Геологическое строение и история развития Черного моря, М., 1938. ² М. В. Муратов, Бюлл. МОИП, отд. геол., 30, 5, 27 (1955). ³ М. В. Муратов, Бюлл. МОИП, отд. геол., 32, 5, 55 (1957). ⁴ M. Ewing et al., Bull. Seismol. Soc. Am., 50, № 3 (1950). ⁵ А. П. Лисицын, И. Е. Михальцев, Н. Н. Сысоев, Г. Б. Удинцев, ДАН, 115, № 6 (1957). ⁶ Н. Н. Сысоев, И. Б. Андреева, Г. Б. Удинцев, ДАН, 119, № 3 (1958). ⁷ Ю. П. Непрочнов, ДАН, 121, № 6 (1958). ⁸ Г. А. Гамбурцев, Ю. В. Ризниченко и др., Корреляционный метод преломленных волн, М., 1952. ⁹ Е. Ф. Саваренский, Д. П. Кирнос, Элементы сейсмологии и сейсмометрии, М., 1955. ¹⁰ В. А. Магницкий, Основы физики земли, М., 1953. ¹¹ Земная кора, Сборн. статей, ИЛ, 1957. ¹² M. Ewing et al., Geophysics, 20, 1, 1, (1955).

Н. Н. СЫСОВ

О ТЕЧЕНИЯХ В ОКЕАНЕ

(Представлено академиком А. А. Григорьевым 18 X 1958)

Изучение циркуляции вод в океане невозможно без достаточных данных о течениях на глубинах. Однако подобных наблюдений почти не производилось, что прежде всего объясняется отсутствием аппаратуры и методики, пригодной для этого вида исследований.

В период подготовки к работам в связи с Международным геофизическим годом в Институте океанологии АН СССР был разработан метод измерений течений в океане с использованием якорных буйковых станций, на тросе которых применяются самописцы течений длительного безнадзорного действия. Буйковые станции предусматривают применение легких буюв, изготовляемых из пенопласта плавучестью в 400—600 кг, снабжаемых мишенями для радиолокаторов и радиостанциями, действующими по заданной программе для поиска буюв судами. Для постановки буюв на якорь на глубинах до 6,5 км используются ступенчатые тросы до 6,0—3,5 мм⁽¹⁾.

Используя якорные буйковые станции и печатающие самописцы течений (БПВ), экспедиция на «Витязе» в августе 1958 г. в Тихом океане провела серии измерений течений на глубинах до 1500 м. Продолжительность одной станции при этом была равна 11,5 суткам. Эта станция выполнена в южной периферии течения Куроисио в районе подводного поднятия с глубинами 2600—2700 м. На станции получены ряды данных о скорости и направлении течений на горизонтах: 8, 100, 250, 750 и 1500 м. На рис. 1 представлены прогрессивные графики наблюденных векторов течений для периода с 21 по 24 VIII. Данные рис. 1 свидетельствуют о том, что, вопреки имеющимся предположениям о незначительности течений в океане на глубинах 1000 м и более, могут наблюдаться течения, превышающие 25 см/сек. В поверхностных слоях океана при этом наблюдались течения более 0,7 м/сек.

Первичная обработка наблюдений заключалась в разделении измеренных течений на приливо-отливные и остаточные (постоянные). Для горизонта 8—10 м в период измерений с 16 по 27 VIII получены следующие результаты по остаточным течениям (см. табл. 1).

Изменчивость постоянных течений на глубине 8—10 м за 12-суточный период в рассматриваемом районе характеризуется графиком на рис. 2, который показывает наличие в районе измерения относительно устойчивого и значительного переноса вод на восток, а не на юг, как это следует из карт Морского атласа⁽²⁾. За 12-суточный период здесь наблюдался перенос вод в направлении 89° со скоростью 37,5 см/сек. Течение при этом из-

Таблица 1

Постоянные течения
(август 1958 г.)

Даты измерений	Направление (град.)	Скорость (см/сек)
16—17	74	41
17—18	72	49
18—19	72	49
19—20	89	49
20—21	107	39
21—22	103	41
22—23	114	41
23—24	101	32
24—25	65	32
25—26	47	33
26—27	59	36
27	77	37
(неполн. сутки)		

менялось в различные сутки от 47 до 114° по направлению и от 32 до 49 см/сек по скорости. Плавное изменение направления течения от суток к суткам в пределах 35°, обнаруживаемое на рис. 2, здесь, вероятно, связано с крупномасштабной пульсацией Куроисио. Постоянные течения по глубине для двух суточных периодов (21—22 VIII и 22—23 VIII), полученные путем исключения из наблюдаемых течений их приливо-отливных составляющих,

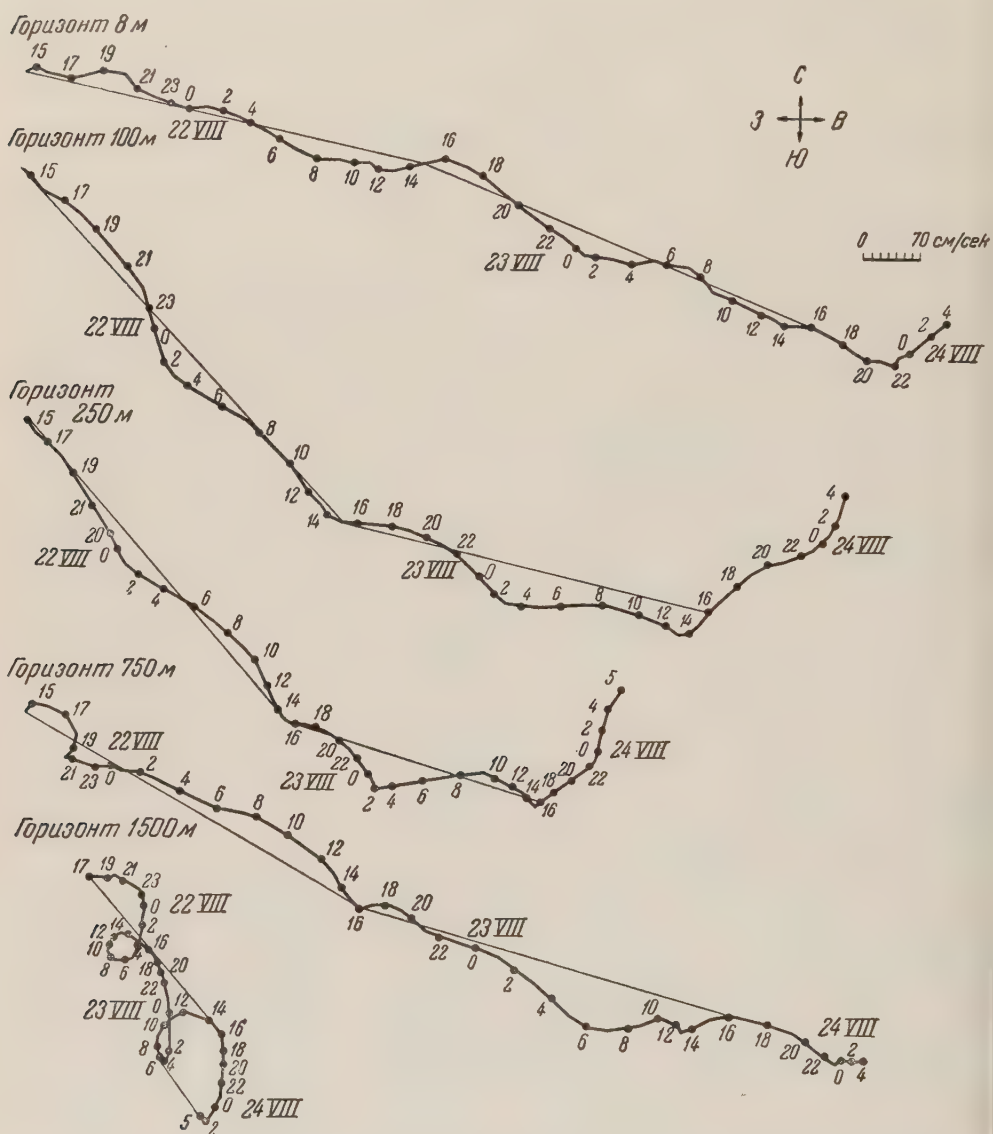


Рис. 1. Графики векторов течений на глубинах 8, 100, 250, 750 и 1500 м в южной части Куроисио (якорная буйковая станция № 4017, 21—24 VIII 1958 г.)

характеризуются данными, приведенными в табл. 2. В этой таблице помимо постоянных течений для характеристики приливо-отливной составляющей приведены средние арифметические скорости наблюдаемых течений.

Как видно из табл. 2 и рис. 1, на глубинах 100—750 м приливо-отливные течения по сравнению с течениями, вызванными другими факторами, составляют всего 5—10% от наблюдаемой величины. В поверхностном слое относительная величина периодических течений повышается, достигая

30%. Еще больше относительная величина приливо-отливных течений на глубине в 1500 м, где они составляют 50% от наблюдаемых. Соотношения периодических и постоянных течений, наблюдаемых на рассматриваемой станции, характерны, по-видимому, для района наблюдений, а для других мест океана они имеют другие значения. В районах, прилегающих к точке

Таблица 2

Горизонт (м)	Постоянные течения				Средние наблюдаемые скорости (см/сек)	
	21—22 VIII		22—23 VIII		21—22 VIII	22—23 VIII
	направл. (град.)	скорость (см/сек)	направл. (град.)	скорость (см/сек)		
8	103	40,7	114	41,0	53,6	51,9
100	138	23,5	104	18,0	24,9	20,8
250	139	20,0	108	13,2	20,9	15,3
750	120	18,8	106	19,9	21,9	21,1
1500	140	5,6	139	6,0	11,2	12,1

39° с. ш., 153 в. д., на глубинах 1000—1500 м в сентябре 1958 г. наблюдались течения порядка 6—8 см/сек при значительных скоростях течений на глубинах 10 и 100 м, где они были близки к 15—20 см/сек.

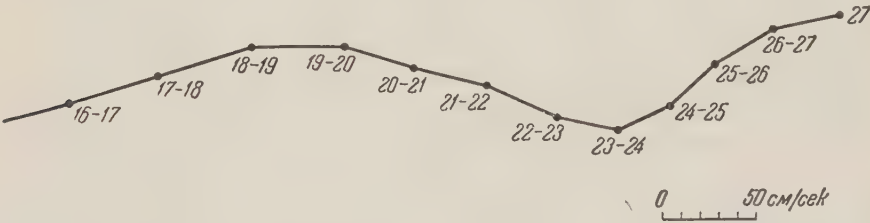


Рис. 2. График изменения среднесуточных векторов постоянных течений в южной части Куро-Охотского (16—27 VIII 1958 г.). Среднее течение: направление 82°, скорость 37,5 см/сек

Полученные нами данные показывают наличие значительных глубинных течений в океане, а также эффективность их изучения с помощью якорных буйковых станций, снабжаемых самописцами течений автономного применения.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
17 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Сысоев, Автономные буйковые станции, Информ. бюлл. МГГ, № 4, Изд. АН СССР, 1958. ² Морской атлас, 2, Л., 1950.

И. Б. ТОКИН

О СТРОЕНИИ ЯДРА И АППАРАТА ГОЛЬДЖИ В КЛЕТКАХ КИШЕЧНОГО ЭПИТЕЛИЯ PARASCARIS EQUORUM

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 24 X 1958)

Несмотря на ряд работ, выполненных в области световой микроскопии, многие вопросы, связанные со структурой кишечной клетки аскариды, остаются неясными. Интересное электронномикроскопическое исследование Бретшнейдера (⁴) касается преимущественно тонкой структуры апикальной части кишечной клетки и в известной мере уже устарело.

Нами изучалось строение ядра кишечной клетки *Parascaris equorum*, а также строение и локализация аппарата Гольджи, само существование которого для кишечных клеток аскариды до настоящего времени представлялось недоказанным. Небольшие участки кишечника фиксировались в буферированном ацетатвероналом 1% растворе четырехокси осмия (¹¹) и заливались в смесь метакрилатов бутила и метила (4 : 1). Срезы толщиной

200—250 Å, изготовленные на ультрамикротоме системы Шёстранда, исследовались без удаления материала заливки в электронном микроскопе УЭМ-100 при напряжении 60 кв.

Результаты исследования представлены в виде схем (рис. 1) и микротографий (рис. 2). Ядра кишечных клеток — овальные. Их наибольший диаметр достигает 5,8 μ, а наименьший

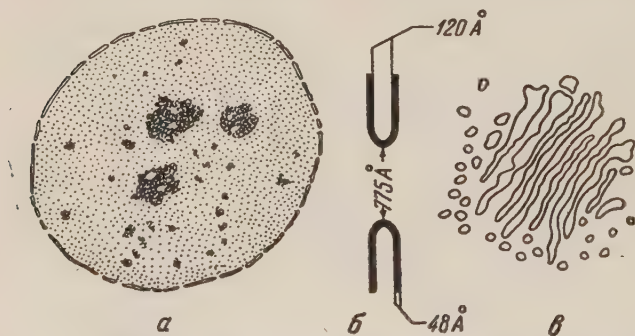


Рис. 1. Схема строения ядра и аппарата Гольджи. а — ядро с тремя ядрышками, б — строение ядерной оболочки, в — аппарат Гольджи

4,8 μ. Детали строения ядер отчетливо видны на микротографиях, представленных на рис. 2а—е. В электроннооптически светлых ядрах обычно имеется 2—3 довольно плотных ядрышка (рис. 2а), размером 1,2 μ. Они обладают характерным волокнистым строением (так называемая нуклеолонема), свойственным ядрышкам многих других объектов, как это было впервые показано Бернарсом с сотр. (³). В ядрышках локализована зернистость (рис. 2е), которую легко идентифицировать с макромолекулами РНК. В ядрах кишечных клеток (рис. 2а, б, г, е, СГ) часто наблюдается множество скоплений осмиофильных гранул, весьма сходных по размерам (49 Å) с гранулами, локализованными в ядрышках, что хорошо соответствует данным Галла (⁸), полученным на ядрах ооцитов амфибий.

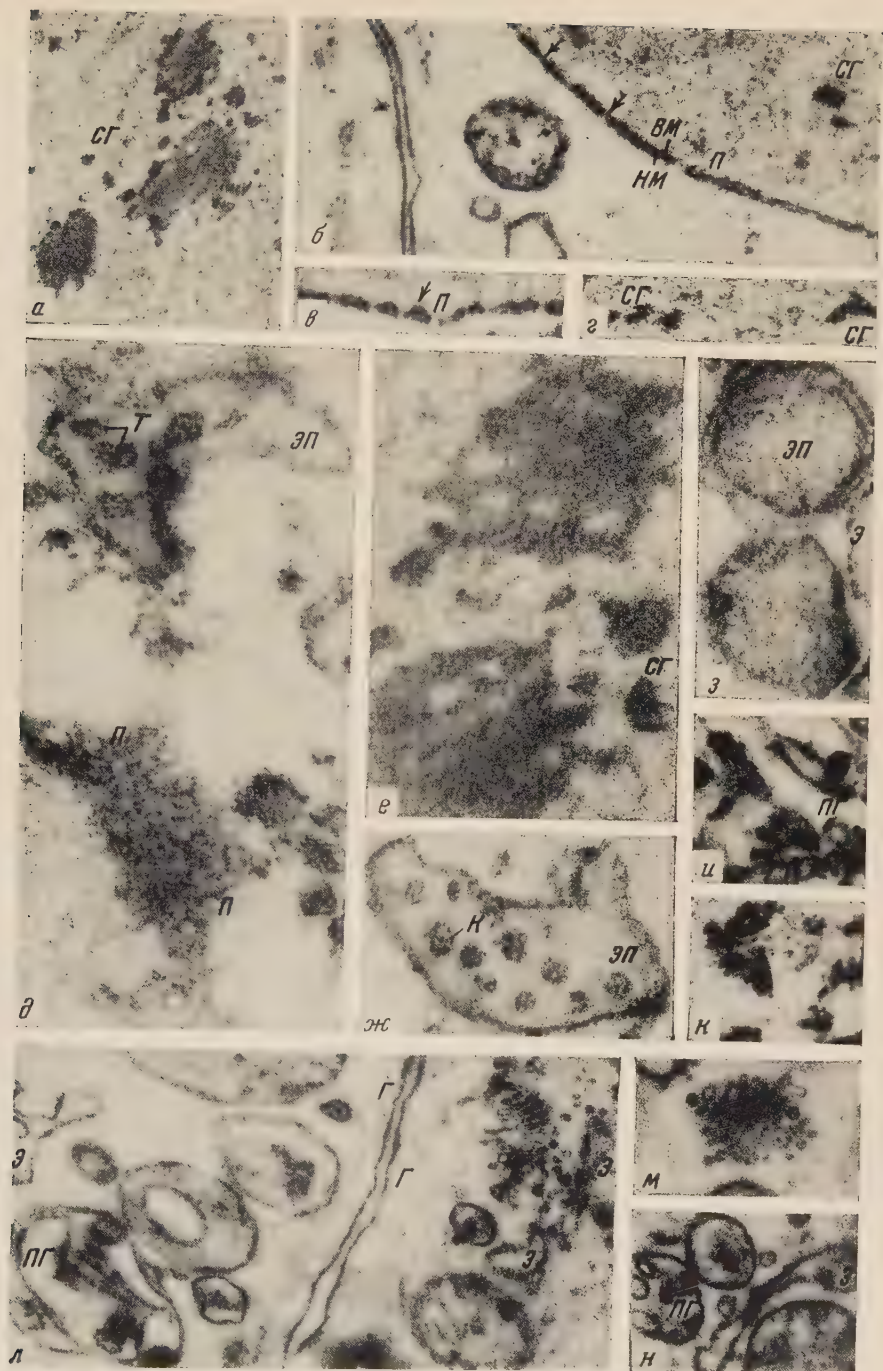


Рис. 2. Ультраструктура базальной части кишечной клетки. а — 16 000 \times , б — г, к, м — 32 000 \times , д, е, ж, з — 48 000 \times , л, м — 28 000 \times

Размеры скоплений осмиофильных гранул варьируют от 62 до 248 м μ .

Значительный интерес представляют детали строения ядерной оболочки (рис. 1а, б, и 2б, в, д). Хорошо видны ее внутренняя и наружная сгратичитальная мембраны (рис. 2б, ВМ и НМ), толщина которых составляет около 43 Å, тогда как расстояние между ними достигает 10⁸ Å.

Характерной особенностью ядер кишечных клеток является наличие в ядерных оболочках бсльшого количества пор.

Несколько лет назад многие авторь описали строение ядерной оболочки на разнообразных объектах (⁵), были описаны и поры, структура которых из-за трудности получения сверхтонких срезов оставалась, однако, выясненной далеко не полностью. Только в 1956 г. впервые были описаны сквозные поры как в наружной, так и во внутренней мембранах оболочки ядра амебы (¹²), ранее представлявшиеся как отверстия лишь в одной из этих мембран. В оболочках ядер кишечных клеток отчетливо видно (рис. 1б и рис. 2б, в, П), как внутренняя и наружная мембраны в ряде мест без перегибов переходят одна в другую, формируя сквозные поры, диаметром до 682 Å, проходящие через обе мембраны. Расстояния между порами весьма колеблются, что отчасти зависит и от колебаний направлений, под которыми производились срезы.

Представляют интерес тангентальные срезы через ядерную оболочку, где поры представляются в виде ограниченных мембранами отверстий (рис. 2д, П). Здесь особенно хорошо видно тесное расположение пор в ядерной оболочке. Около пор, как со стороны ядра, так и со стороны цитоплазмы, нередко наблюдаются скопления осмиофильнсь субстанции (указаны стрелками на рис. 2б, в), говорящие в пользу интенсивного обмена между ядром и цитоплазмой кишечной клетки, что в общем соответствует данным, полученным Андерсоном и Бимсом (¹) и Андре и Рулье (²).

На мембранах ядерной оболочки (рис. 2б, в, д) часто локализованы осмиофильные гранулы, совпадающие по размерам с гранулами ядрышек и скоплений зернистости в ядре, а также с макромолекулами РНК эргастоплазматических структур кишечной клетки. Это сходство говорит в пользу предположения о рибонуклеиновой природе этих гранул.

Аппарат Гольджи кишечных клеток (рис. 1в и 2к—м) аскариды несколько отличается от хорошо развитого аппарата, описанного для клеток многочисленных позвоночных (⁷).

Он представлен обильно разбросанными в базальной части клеток неподалеку от ядра небольшими отдельностями (диктиозомами), размером 310—720 м μ , лежащими около предела разрешающей способности светового микроскопа. Таким образом, имеющиеся в литературе описания аппарата Гольджи в кишечных клетках аскариды относятся в действительности к другим структурам, возможно к производным аппарата Гольджи или эргастоплазматического аппарата.

Диктиозомы кишечных клеток *Parascaris equorum* сходны по строению с диктиозомами некоторых животных (^{9,10}) и имеют на срезах (рис. 2к—м) вид характерных более менее параллельно расположенных мембран и пузырьков, лишенных осмиофильной зернистости. Эти мембраны, по-видимому, следует толковать как продольно разрезанные параллельные уплощенные каналыцы.

На микрофотографиях хорошо видно, что пузырьки непосредственно связаны с каналыцами и являются их местными расширениями, большей частью концевыми. В некоторых случаях (рис. 2л) можно наблюдать и центрально расположенные расширения каналыцев.

Разветвления и анастомозы между каналыцами Гольджи не обнаружены. Диаметры каналыцев варьируют от 95 до 125 Å, а пузырьков — от 310 до 620 Å, тогда как толщина стенок каналыцев и пузырьков составляет приблизительно 77 Å. Обычно каналыцы расположены в 6—8 рядов, иногда в 3—4 ряда, расстояние между которыми равняется 160 Å.

На рис. 2 б, л изображены базальные участки клеточных мембран. Как отчетливо видно, они — двойные. Расстояния между мембранами достигают 720 Å, а толщина мембран 78 Å. Интересной особенностью кишечных клеток является наличие ориентированных параллельно мембранам волокнистых элементов, а также довольно крупных гранул, размером ~217 Å (рис. 2 л, Г).

Цитоплазма базальной части кишечной клетки весьма богата эргастоплазматическими структурами (рис. 2 з, л, н, Э), имеющими здесь вид преимущественно мешковидных образований, размером до 1 м. Мембраны эргастоплазматических мешков обильно усеяны зернами РНК.

Вероятно, своеобразные структуры, изображенные на рис. 2 д, з, ж (ЭП) и до сих пор совершенно неизвестные в литературе, являются производными эргастоплазматических мешков. В пользу этого предположения говорит форма и расположение этих образований и толщина их ограничительных мембран (124 Å), которые, так же как и мембраны эргастоплазматических мешков, усеяны зернами сходных размеров.

В отличие от типичных эргастоплазматических мешков, полость вышеупомянутых образований заполнена довольно плотной гомогенной субстанцией (рис. 2 э), в которой часто, в свою очередь, заключены своеобразные округлые тельца (рис. 2 д, Т), размером до 930 Å. При внимательном рассмотрении в этих тельцах удается увидеть кольцевидные структуры (рис. 2 ж, К).

На рис. 2 л, н (ПГ) представлены округлые образования еще не выясненной природы, соответствующие тельцам, описанным Бретшнейдером ⁽⁴⁾ как аппарат Гольджи. Очевидно, их нельзя идентифицировать с последним, однако отсутствие зернистости на мембранах этих образований дает возможность рассматривать их как производные аппараты Гольджи. Такое предположение хорошо согласуется с имеющимися данными ⁽⁶⁾ об участии аппарата Гольджи в образовании цитоплазматических пузырьков. В кишечных клетках также довольно часто наблюдаются различные стадии формирования цитоплазматических пузырьков.

На рис. 2 и (ПГ) видно, что пузырек Гольджи значительно увеличен, причем в ряде мест стенки его начинают впячиваться. Дальнейшее разрастание впячиваний приводит к образованию еще более сложных структур (рис. 2 л, н, ПГ), которые можно считать значительно увеличенными пузырьками Гольджи, изолировавшимися от канальцев и несущих какую-то специфическую функцию.

Следует, вместе с тем, отметить, что по величине (1,1 м) эти образования соответствуют митохондриям, что делает вероятной гипотезу их происхождения из митохондрий.

На основании проведенных исследований ультраструктуры базальной части кишечной клетки можно отметить следующее:

1. Представляют интерес детали строения ядерной оболочки, снабженной большим количеством сквозных пор. В ядре обнаружены скопления осмиофильной зернистости, сходной по размерам гранул с макромолекулами РНК. Множество таких же гранул локализовано и на ядерных мембранах. Отмечаются морфологические особенности, указывающие на наличие интенсивного обмена между ядром и цитоплазмой.

2. Цитоплазма базальной части кишечных клеток весьма богата разнообразными структурами и, кроме ядра, содержит диктиозомы и эргастоплазматические мешки, а также два вида ранее не описанных образований, имеющих ряд особенностей, сближающих их с аппаратом Гольджи, эргастоплазмой и митохондриями.

3. Диктиозомы аппарата Гольджи отличаются очень мелкими размерами (310—720 мμ) и состоят из 6—8 параллельно расположенных канальцев с типичными терминальными вздутиями в виде небольших пузырьков.

4. Эргастоплазматический аппарат представлен преимущественно мешковидными структурами длиной до 1 μ .

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
6 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. A. Anderson, H. W. Beams, J. Biophys. and Biochem. Cytol., 2, Suppl., 439 (1956). ² J. André, Ch. Rouiller, Proc. Stockholm Confer. on Electron Microscopy 1956, Stockholm, 1956, 162. ³ W. Bernhar et al., Exp. Cell. Res., 9, 88 (1955). ⁴ L. H. Bretschneider, Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch., Amsterdam, 57, 524 (1954). ⁵ H. G. Callan, S. G. Tomlin, Proc. Roy. Soc., Ser. B., 137, 367 (1950). ⁶ I. Clermont, J. Biophys. and Biochem., Cytol., 2, Suppl., 119 (1956). ⁷ A. J. Dalton, M. Felix, ibid., 2, Suppl., 79 (1956). ⁸ J. G. Gall, ibid., 2, Suppl. 393 (19, 56). ⁹ D. Lacy, ibid., 3, 779 (1957). ¹⁰ D. Lacy, C. E. Challice, Symposia of the Society for Experm. Biology, 10, 62 (1957). ¹¹ G. E. Palade, J. Exp. Med., 95 285 (1952). ¹² G. D. Pappas, J. Biophys. and Biochem. Cytol., 2, Suppl., 431 (1956).

Э. Н. ПОПОВА

К ВОПРОСУ О НЕЙРОННОМ СТРОЕНИИ КОРКОВОГО КОНЦА ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА БЕЛОЙ КРЫСЫ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 20 XII 1958)

Работа посвящена исследованию нейронного строения центральной части коркового конца зрительного анализатора белой крысы, до настоящего времени еще не изученного.

Изучение нейронного строения коры мозга крысы существенно дополнит сведения об особенностях организации коры, полученные цитоархитектоническим методом. Цитоархитектоника коры мозга крысы описана многими авторами, но их данные относительно количества, величины, положения и границ отдельных областей и полей коры довольно противоречивы (^{2, 11-13}). Для нашего исследования мы использовали карту В. М. Светухиной, причем в зрительной коре взяли ее центральную часть, *area occipitalis centralis*, являющуюся, видимо, гомологом поля 17 Бродмана.

Объектом исследования служили молодые половозрелые крысы-самцы в возрасте 4—10 мес. у которых рост и созревание нейронов уже закончено (¹⁴). В исследовании использованы хромо-серебряная импрегнация по методу Гольджи и окрашивание крезил-виолетом.

Известно, что белые крысы отличаются слабым зрением, и в приспособлении их к окружающей среде зрение не имеет большого значения (^{15, 17}). Функциональному значению зрительной коры у крыс соответствует и относительная простота ее строения (рис. 1). Кора довольно узкая (1,1 мм); нижний ее этаж (слои V, VI и VII) преобладает над верхним (слои II+III и IV). Верхний этаж слабо расслоен, слой II не обособлен от III. Слой II+III (0,25 мм) образован в основном мелкими клетками. Слой IV (0,17 мм) нерезко отграничен от слоя II+III, не разделяется на подслои и состоит из очень мелких клеток. Слой V (0,27 мм) содержит в основном клетки среднего размера. Здесь располагаются и довольно крупные клеточки, но особо крупных (типа солитарных клеток Мейнерта) нет. На уровне слоя V имеется полоска просветления. Слой VI (0,25 мм) густо- и мелкоклеточный. Слой VII узкий (0,06 мм); составляющие его клетки имеют вытянутую форму и располагаются в горизонтальном направлении.

Рис. 1. Цитоархитектоника центральной части ядра зрительного анализатора белой крысы. Крезил-виолет. 100×

Основную массу нейронов центральной части ядра зрительного анализатора белой крысы (рис. 2) составляют нейроны пирамидной формы, рас-

положенные во всех слоях поперечника коры, причем в слое V имеются довольно крупные пирамиды, несколько напоминающие солитарные пирамидные клетки Мейнерта (рис. 2, 18). В верхнем этаже коры наряду с типичными пирамидными нейронами встречаются в большом количестве нетипичные нейроны. Такие нейроны были найдены также в зрительной^(10,16) и двигательной⁽³⁾ коре некоторых других млекопитающих. Нетипичные пирамидные нейроны имеют округлую, грушевидную, неправильную треугольную или полигональную форму. От тела клетки отходят не-

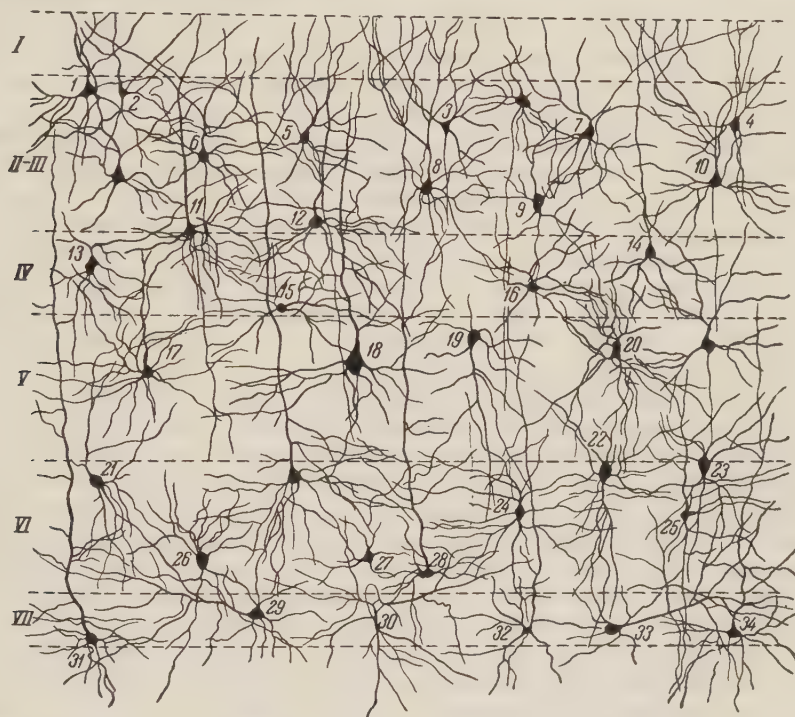


Рис. 2. Сводная карта нейронного строения. 1—3 — нейроны, не имеющие типичной пирамидной формы; 4, 5 — нейроны, приближающиеся по строению к типичным пирамидам; 6—8, 10—14, 18, 28, 29, 31, 33, 34 — пирамидные нейроны всех слоев коры; 21, 25, 32 — веретенообразные нейроны; 19, 22, 30 — нейроны в виде опрокинутых пирамид; 9, 13, 20, 23, 26, 27 — звездчатые нейроны; 15, 16 — прототип крупных клеток Кахала. Зарисовка при помощи рисовального аппарата Аббе. Метод Гольджи, 400 \times , при репродуцировании уменьшено в 6 раз

многочисленные, слабо ветвящиеся дендриты, густо покрытые шипиками, и нисходящий аксон. Среди дендритов верхушечный дендрит не выделяется (рис. 2, 2, 3), а если и намечается, то вблизи от тела клетки распадается на ветви (рис. 2, 1). Нетипичные нейроны, как указывают в своей работе Г. П. Жукова, Т. А. Леонтович и К. В. Савич⁽⁴⁾, сходны с длинноаксонными нейронами подкорковых образований. Так как с развитием коры от низших млекопитающих к высшим количество нейронов, не имеющих типичной пирамидной формы, уменьшается⁽³⁾, то их обилие в коре мозга крысы может служить одним из показателей слабости дифференцировки коры.

Наряду с нейронами, не имеющими типичной пирамидной формы, в верхней части слоя II+III встречаются нейроны, приближающиеся по строению к типичным пирамидным нейронам: они имеют ясно выраженный верхушечный дендрит, который, однако, ориентирован не вертикально, как у типичных пирамид, а в косом направлении (рис. 2, 4, 5). Типичные пирамидные нейроны верхнего этажа коры обнаруживают разную степень

дифференцировки. Наиболее дифференцированные формы располагаются преимущественно в глубине слоя II+III.

Пирамиды, лежащие в средней части слоя II+III, в основном менее дифференцированы (рис 2, 6, 7).

Наличие в верхнем этаже коры переходных форм от нетипичных, сходных с длинноаксонными нейронами подкорковых образований, к наиболее развитым нейронам указывает на то, что процесс дифференцировки нейронов у крысы выражен слабее, чем у вышестоящих животных. Подтверждением этого служат сравнительно-анатомические исследования, проведенные в лаборатории нейрогистологии нашего института. Этими исследованиями установлено, что в процессе филогенеза происходит усложнение нейронного строения коры, и в частности зрительной, причем наибольшей сложности достигает строение нейронов верхних слоев.

Нейроны нижнего этажа коры (особенно VI—VII слоев) характеризуются относительной простотой строения. По сравнению с нейронами верхнего этажа они имеют меньше дендритов, а ветвления дендритов менее сложны. Наблюдаемые нами различия в структуре верхних и нижних слоев коры подтверждают высказанное в 1948 г. С. А. Саркисовым положение о том, что верхние слои коры — это наивысшие в функциональном отношении образования коры мозга, и данные Г. И. Полякова (³, ⁶), Г. И. Жуковой (³) и Е. Г. Школьник-Яррос (⁹, ¹⁰) о более сложной структуре нейронов верхних слоев по сравнению с нижними.

В нижнем этаже коры процесс дифференцировки нейронов на основные типы выражен более отчетливо. Наряду с пирамидами имеются и другие формы клеток с длинным аксоном: веретенообразные нейроны (рис. 2, 21, 25, 32) и нейроны в виде опрокинутых пирамид (рис. 2, 19, 22, 30). В слое VII располагаются как вертикально, так и горизонтально ориентированные нейроны. Последние имеют довольно сильно разветвленный верхушечный дендрит и немногочисленные и слабо развитые базальные дендриты. Верхушечный дендрит может быть направлен в различные стороны. Аксон идет в направлении, противоположном направлению верхушечного дендрита (рис. 2, 29, 33). Тела вертикально ориентированных нейронов, как правило, более или менее вытянуты в ширину (брахиморфные пирамиды) (рис. 2, 31, 34). Таким образом, горизонтальное расположение клеток слоя VII, выявляемое на цитоархитектонических препаратах, определяется положением клеток и формой клеточных тел. Вертикально направленные нейроны с несколько уплощенной формой клеточного тела имеются и в глубокой части слоя VI (рис. 2, 28). Расположение и форма клеток глубоких слоев коры определяются прохождением здесь горизонтальных пучков волокон (12 а).

Клетки с коротким аксоном представлены звездчатыми нейронами, которые располагаются во всех слоях поперечника коры, но концентрируются на уровне слоя IV и прилегающих к нему слоев. Звездчатые нейроны в коре белой крысы слабо дифференцированы, на что указывает однообразие их формы и величины. Форма тела преимущественно овальная и яйцевидная. Дендриты звездчатых нейронов расходятся по радиусам, извилисты, распадаются на ветви у самого тела клетки. Как правило, дендриты имеют неровные контуры, четкообразно утолщены и лишены шипиков (рис. 2, 9, 13, 20, 26, 27). Если контуры дендритов гладкие, дендриты несут немногочисленные шипики (рис. 2, 23).

Крупные клетки Кахаля, характерные для слоя IV поля 17 высших млекопитающих, в слое IV центральной части коркового конца зрительного анализатора крысы не обнаружены. Здесь имеются звездчатые нейроны с нисходящим аксоном, сходные по структуре с клетками Кахаля, но более мелкие и менее сложные по строению (рис. 2, 15, 16). Следует сказать, что в слое IV наряду со звездчатыми нейронами имеются многочисленные мелкие по величине пирамидные нейроны (рис. 2, 14).

В зрительной коре крысы, чаще в нижних слоях поперечника коры, встречаются нейроны промежуточной формы, соединяющие в себе черты

строения пирамидных и звездчатых (рис. 2, 17), реже веретенообразных и звездчатых нейронов (рис. 2, 24).

По мнению Е. Г. Школьник-Яррос, особую роль в восприятии зрительных раздражений играет подслой IVc, где оканчиваются многочисленные афференты и концентрируются звездчатые нейроны. С этой точки зрения отсутствие расслоения слоя IV в зрительной коре белой крысы, бедность слоя IV звездчатыми нейронами и относительная простота их строения свидетельствуют о слабом развитии зрительной функции у крыс, что подтверждается и физиологически.

Нам казалось интересным сравнить строение зрительной коры крысы и кролика — двух представителей отряда грызунов, образ жизни которых различен. Зрительная кора крысы и кролика ⁽¹⁰⁾ имеет много сходного как по цитоархитектонике, так и по строению нейронов. Однако наряду со сходством в строении имеется и довольно значительное различие. Зрительная кора кролика шире за счет увеличения верхних слоев: слой IV, хотя и не делится на подслои, но развит лучше, чем у крысы; звездчатые нейроны более многочисленны и более разнообразны по форме и величине. Различия в строении зрительной коры указывают, по-видимому, на то, что у кролика зрение развито лучше, чем у крысы, о чем говорит и описание поведения крысы и кролика ⁽¹⁾.

О слабости зрения крысы по сравнению с кроликом свидетельствует и строение периферического конца зрительного анализатора. Если в сетчатке крыс имеются только палочковидные клетки ⁽¹⁵⁾, то сетчатка кролика содержит не только палочки, но и колбочки ⁽⁹⁾. П. В. Терентьев, В. Б. Дубинин и Г. А. Новиков указывают также, что некоторыми физиологами с помощью метода условных рефлексов показана возможность наличия у кролика цветного зрения, хотя и в очень незначительной части спектра, тогда как у крыс цветное зрение отсутствует ⁽¹⁷⁾.

Различное значение зрения в жизни кролика и крысы можно поставить в связь не только со строением периферического и коркового концов зрительного анализатора, но и с величиной площади зрительной коры, которая, по данным М. О. Гуревича и др. ⁽²⁾, занимает у кролика большую площадь (14,4% площади полушария), чем у крысы (8,9%). Таким образом, между величиной и строением коркового конца зрительного анализатора и значением зрения в жизни животного в постнатальном периоде развития имеется определенная связь.

Институт мозга
Академии медицинских наук СССР

Поступило
10 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Брем, Жизнь животных, 1, Млекопитающие, СПб., 1900. ² М. Гуревич, Г. Быховская, Я. Урановский, Сборн. тр. Инст. высшей нервной деятельности, М., в. I, 1929. ³ Г. П. Жукова, Канд. диссертация, М., 1950. ⁴ Г. П. Жукова, Т. А. Леонтович, К. В. Савич, Архив анатомии, гистологии и эмбриологии, № 1, 31 (1954). ⁵ Г. И. Поляков, в кн. Цитоархитектоника коры большого мозга человека, М., 1949. ⁶ Г. И. Поляков, Архив анатомии, гистологии и эмбриологии, № 5, 30 (1953). ⁷ С. А. Саркисов, Некоторые особенности строения нейрональных связей коры большого мозга, М., 1948. ⁸ П. В. Терентьев, В. Б. Дубинин, Г. А. Новиков, Кролик, М., 1952. ⁹ Е. Г. Школьник-Яррос, Бюлл. экспериментальной биологии и медицины, 30, в. 5 (1950). ¹⁰ Е. Г. Школьник-Яррос, Журнал высшей нервной деятельности, 4, в. 2 (1954). ¹¹ W. Krieg, J. Comp. Neurol., 84, № 2, 221 (1946); 84 № 3, 278 (1946). ¹² A. Herreira, J. Comp. Neurol., 95, № 2 (1951). ¹³ A. Fortuyn, Arch. Neurol. and Psych., 6, 221 (1914). ¹⁴ M. Haddara, J. Anat., 90, № 4, 494 (1956). ¹⁵ K. Lashley, J. Animal Behav., 2, 310 (1912). ¹⁶ J. O'Leary, G. Bishop, J. Comp. Neurol., 68, 423 (1938). ¹⁷ J. Watson, M. Watson, J. Animal Behav., 13, № 1, 1 (1913).

С. Ю. ГОЛЬДАТ и С. И. АЛИХАНИЯ

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ И РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ НА МУТАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС У STREPTOMYCES AUREOFACIENS ЛС-Б16

(Представлено академиком Н. В. Цициным 23 XII 1958)

Рядом авторов показано, что мутагенная эффективность рентгеновских и ультрафиолетовых лучей может быть модифицирована с помощью ряда дополнительных факторов и условий, влияющих на чувствительность клетки к лучистой энергии ($^{1-5}$) и др.). В связи с этим представлялось интересным выяснить эффективность взаимодействия этих двух видов лучистой энергии и определить, влияет ли облучение одним фактором на мутагенное действие другого.

Опыты проводились с продуцентом биомцина, *Streptomyces aureofaciens* штамм ЛС-Б16, полученным нами в результате комбинированного действия рентгеновских и у.-ф. лучей на споры штамма ЛС-Б536.

Источником у.-ф. лучей служили две бактерицидные лампы БУВ-15, около 80% лучей которых имели длину волны 2537 Å. Принятая в работе доза устанавливалась перед опытом специальным дозиметром (УФМ-5). Источником рентгеновских лучей служила близкофокусная трубка рентгеновского аппарата РУМ-7, работающая на режиме 60 кВ и 20 мА.

Во всех опытах дозы у.-ф. и рентгеновских лучей оставались постоянными: для у.-ф. лучей 4000 эрг/мм², для рентгеновских лучей 36 кЧ, при интенсивности облучения в 38520 ч/мин.

Облучение спор у.-ф. и рентгеновскими лучами проводилось в двух последовательностях: у.-ф. лучи → X-лучи и X-лучи → у.-ф. лучи. Как в первом, так и во втором случае один вид облучения следовал непосредственно за другим, а также с 1, 2 и 3-часовыми интервалами между ними. В промежутках между облучениями суспензия хранилась при 5°. Результаты опытов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Влияние раздельного и комбинированного облучения у.-ф. и рентгеновскими лучами на выживаемость спор *S. aureofaciens* ЛС-Б16 (в процентах к необлученному контролю). Средние данные по 5 опытам

У.-ф. + рентгеновские лучи				У.-ф. лучи	Рент- генов- ские лучи	Рентгеновские + у.-ф..				Ожидае- мые в слу- чае куму- лятивного эффекта
интервалы между облучениями (в час.)						интервалы между облучениями (в час.)				
0	1	2	3			0	1	2	3	
0,0022	0,0033	0,0025	0,00034	0,0037	0,149	0,00035	0,00039	0,0009	0,0013	0,0000055

Как видно из табл. 1, летальный эффект от совместного действия двух видов лучистой энергии, взятых в любой последовательности, значительно ниже ожидаемого при кумулятивном действии.

Последовательность облучения в условиях наших опытов оказала большое влияние на жизнеспособность спор *S. aureofaciens* ЛС-Б16. При облучении в комбинации у.-ф. лучи → Х-лучи, когда непосредственно за у.-ф. лучами следовали рентгеновские лучи, а также при 1 и 2-часовом интервалах между облучениями, жизнеспособность спор была значительно выше, чем при воздействии агентами, взятыми в обратной последовательности. Таким образом, у.-ф. лучи как бы снижали летальный эффект последующего облучения рентгеновскими лучами.

Картина резко изменялась, когда интервал между двумя облучениями достигал 3 час. В этом случае жизнеспособность резко падала.

Противоположные результаты были получены при облучении спор в последовательности Х-лучи → у.-ф. лучи, когда увеличение интервала между облучениями приводило к снижению летального эффекта (см. рис. 1).

Результаты опытов по влиянию комбинированного действия у.-ф. и рентгеновских лучей на мутационный процесс представлены в табл. 2. Частота мутаций изучалась по морфологическим признакам. В качестве морфологических признаков учитывались цвет спор, степень споруляции, цвет субстратного мицелия, характер складчатости колоний, размер колоний и т. д. Полученные под влиянием облучения мутации, как правило, были устойчивыми, за исключением очень немногих.

Как видно из табл. 2, частота мутаций при обработке Х-лучи → у.-ф. лучи значительно выше, чем при обработке теми же агентами в обратной последовательности. Предварительная обработка у.-ф. лучами как бы снимала эффективность последующего облучения рентгеновскими лучами. В этой комбинации самый высокий процент мутаций (7,45%) был получен при 3-часовом интервале между облучениями (см. рис. 2).

После обработки теми же агентами в обратной последовательности (Х-лучи → у.-ф. лучи) при тех же условиях, т. е. при 3-часовом интервале, был получен одинаковый процент мутаций, однако оказавшийся в этой комбинации самым низким.

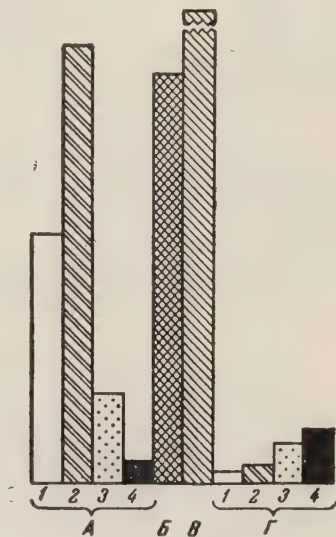


Рис. 1. Влияние раздельного и комбинированного облучения у.-ф. и рентгеновскими лучами на жизнеспособность спор *S. aureofaciens* ЛС-Б16. А—у.-ф. лучи + Х-лучи, Б—у.-ф. лучи, В—рентгеновские лучи, Г—Х-лучи + у.-ф. лучи. Интервалы между облучениями (в часах): 1—0, 2—1, 3—2, 4—3

Таблица 2

Сравнительная частота мутаций у *S. aureofaciens* ЛС-Б16 при комбинированном действии рентгеновских и у.-ф. лучей в зависимости от их последовательности и от интервалов между облучениями (в процентах к числу выживших колоний; необлученный контроль 0,00003%)

У.-ф. лучи → Х-лучи				У.-ф. лучи	Рентгеновск. лучи	Х-лучи → у.-ф. лучи			
интервалы между облучениями (в час.)						интервалы между облучениями (в час.)			
0	1	2	3			0	1	2	3
1,77	0,72	0,6	7,45	0,42	0,1	14,2	10,77	17,2	7,62

Полученные результаты нужно считать предварительными. Однако уже сейчас можно говорить о необходимости более детального изучения комбинированного действия на мутационный процесс у.-ф. лучей и рентгеновских лучей.



Рис. 2. Влияние раздельного и комбинированного облучения у.-ф. и рентгеновскими лучами на мутационный процесс у *S. aureofaciens* ЛС-Б16. А — у.-ф. лучи + X-лучи, Б — у.-ф., В — рентгеновские лучи. Интервалы между облучениями (в часах): 1—0, 2—1, 3—2, 4—3

На данном этапе исследований можно высказать предположение, что мутационный процесс, вызванный у.-ф. лучами, продолжается и после облучения и лишь при последующем облучении рентгеновскими лучами прекращается.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт антибиотиков

Поступило
22 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. P. Swanson, J. Cell. and Comp. physiol., 39, № 1, 27 (1952), suppl. ² C. P. Swanson, S. U. Goodgal, Genetics, 33, № 1 (1948). ³ A. Kelner, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 35, № 2, 73 (1949). ⁴ С. И. Алиханян, С. Ю. Гольдат, А. Ф. Тетерятник, ДАН, 115, № 5 (1957). ⁵ H. B. Newcombe, J. F. McGregor, Genetics, 39, № 5, 619 (1954). ⁶ B. P. Kaufmann, A. Hollender, Genetics, № 1, 830 (1945). ⁷ H. B. Newcombe, J. Gen. Microbiol., 9, 30 (1953). ⁸ E. Witkin, Cold Spring Harbor Sympos. Quant Biol., 16, 357 (1951).

ГИДРОБИОЛОГИЯ

И. Б. УЛАНОВСКИЙ, Н. И. ТАРАСОВ и Ю. М. КОРОВИН
**ВЛИЯНИЕ МОРСКИХ ЖЕЛУДЕЙ НА КОРРОЗИЮ
НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 12 XII 1958)

Исследование большого количества образцов нержавеющей стали, испытывавшихся в Черном море, показало существенное влияние животных с известковыми образованиями на процессы коррозии. К таким животным относятся, в первую очередь, морские желуды, обильно оседающие на твердые поверхности в море (1,3). Морские желуды, имеющие раковинку («домик») усеченно-конической, а при скученности — цилиндрической и даже лилиевидной формы, прикрепляются к стальной поверхности основанием домика. Это основание, представляющее собой у наблюдавшихся нами обычных в Черном море обростателей *Balanus improvisus* и *V. eburneus* тонкий, прочный известковый слой*, непосредственно прилегающий к стальной поверхности, в большой степени и влияет на коррозию. Под морскими желудями авторами обнаружены два характерных вида разрушения. В одном случае разрушение возникало вследствие контакта поверхности нержавеющей стали с неметаллическим телом — домиком морского желудка; в другом — разрушение возникало в результате жизнедеятельности морского желудка. В настоящей работе приводятся результаты исследований первого вида разрушения, широко распространенного и интенсивного.

Опыты проводились в Батумийском и Новороссийском портах и в Геленджикской бухте. Испытывались две стандартные марки нержавеющей стали: 1Х13 и 1Х18Н9Т. Шлифованные образцы размером 60×50×1,5 мм и 240×180×4 мм в специальных рамах погружались на глубину около 2 м в период интенсивного оседания личинок морских желудей. Периодически часть образцов снималась с испытания, и поверхность металла под осевшими морскими желудями подвергалась исследованию в лабораторных условиях. Наши исследования показали, что коррозионные разрушения возникали под морскими желудями на обеих марках сталей. Однако интенсивность разрушения была различной. Так, за 3 мес. испытаний на образцах из стали 1Х13 глубина разрушения под морскими желудями достигала 1,25 мм, т. е. была катастрофически большой (рис. 1), а на стали 1Х18Н9Т первые

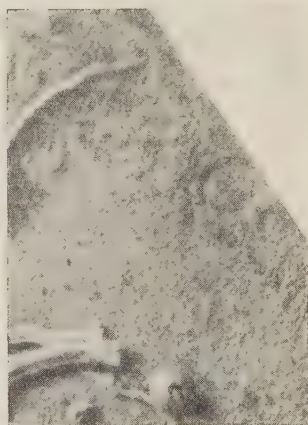


Рис. 1. Интенсивное разрушение под основанием морского желудка на стали 1Х13. Глубина язвы 1,25 мм. Нат. вел.

* У многих видов морских желудей-обросителей — таковы, например, *Chthamalus stellatus* (Средиземное и Черное моря), *Balanus cariosus* и *Chth. dalli* (моря советского Дальнего Востока), *V. balanoides* (Баренцово и Охотское моря) — основанием домика служит тонкая, прочная, пергаментобразная пленка хитина, еще плотнее прилегающая к субстрату, чем известковое основание (3). Изучение процессов под хитиновыми основаниями еще предстоит.

коррозионные очаги были обнаружены лишь через 6 мес. после начала испытаний, причем после 12 мес. испытаний глубина разрушений доходила только до 0,14 мм (табл. 1).

Таблица 1

Величина разрушения стали под морскими желудями

Марка стали	№ обр.	Макс. глуб. разруш., мм	Срок испытания, мес.	Марка сталн	№ обр.	Макс. глуб. разруш., мм	Срок испытания, мес.
1X13	1	0,94	3	1X18H9T	1	0,12	12
	2	1,25			2	0,10	
	3	0,76			3	0,14	
	4	1,15			4	0,08	

Уже простой осмотр показывает, что разрушение под основанием морского желудка есть результат работы гальванической пары, причем анодом служит поверхность под основанием морского желудка, а катодом — окружающая основание открытая поверхность. Так, на рис. 2 видна типичная при работе гальванической пары картина: вокруг основания, т. е. анодного участка (чтобы увидеть это место, домик был удален непосредственно перед фотографированием), кольцом расположена рыхлая гидроокись*. Концен-

Таблица 2

Электродные потенциалы стали 1X13 после 3 мес. испытаний (в вольтах по водородному электроду)

№ обр.	В язвах под морск. желуд.	На окруж. поверхн.
1	—0,12	—0,01
2	—0,09	—0,02
3	—0,14	+0,01
4	—0,11	+0,02
5	—0,08	—0,02

трированный характер разрушения также типичен для анодного участка гальванической пары. Кроме того, будучи следствием работы гальванической пары, разрушение под основаниями морских желудей должно возрастать при увеличении катодной поверхности (т. е. поверхности без обрастания). Действительно, при наличии отдельно сидящих на опытных образцах желудей и при слабом общем обрастании разрушение нередко достигало значительной глубины.

Электрохимические измерения также подтвердили, что разрушение нержавеющей стали под морскими желудями является следствием работы гальванических пар. На стали 1X13 измерялся электродный потенциал поверхности металла в язвах под морскими желудями. Так как CaCO_3 обладает ионной проводимостью, то при этих измерениях донышко (основание) морского желудка не удалялось, а на поверхности донышка устанавливался кончик электролитического ключа. Благодаря этому при измерениях не нарушалась среда под донышком. Как видно из табл. 2, электродный потенциал поверхности в язвах под морскими желудями значительно сдвинут в отрицательную сторону по сравнению с электродным потенциалом окружающей поверхности. Естественно, что участки поверхности с более отрицательным потенциалом служили анодами гальванических пар и интенсивно разрушались.

Особенность этого вида разрушения состоит в его последовательности. В начальный момент возникают редкие коррозионные точки вблизи периметра основания домика. Количество точек растет, и через некоторое время они сливаются в линию. Это разрушение в виде линии расширяется затем к центру. Многочисленные опыты, проведенные авторами, показали, что такая последовательность разрушения наблюдается при контакте поверхности нержавеющей стали с различными неметаллическими материалами (4).

Особенность этого вида разрушения состоит в его последовательности. В начальный момент возникают редкие коррозионные точки вблизи периметра основания домика. Количество точек растет, и через некоторое время они сливаются в линию. Это разрушение в виде линии расширяется затем к центру. Многочисленные опыты, проведенные авторами, показали, что такая последовательность разрушения наблюдается при контакте поверхности нержавеющей стали с различными неметаллическими материалами (4).

* Вследствие процессов кислородной деполяризации на катоде образуется щелочь. Эта щелочь осаждает продукты анодного процесса — соли металлов, вследствие чего вокруг анодного участка возникает гидроокись (?).

В результате явлений происходящих в узком зазоре между поверхностью нержавеющей стали и неметаллическим телом, поверхность металла в зазоре активируется, и ее электродный потенциал сдвигается в отрицательную сторону — возникают гальванические пары. Резко отличающаяся интенсивность разрушения под морскими желудями на различных марках нержавеющей стали определяется склонностью пассивной пленки к активации. Таким образом, описанное здесь разрушение под морскими желудями не связано с их жизнедеятельностью, а возникает как результат контакта



Рис. 2. Возникновение гидроокиси вокруг основания морского желудя в результате работы гальванической пары на стали IX13. Нат. вел.



Рис.3. Распространение разрушения за пределы основания морского желудя на стали IX13

металлической поверхности с известковым домиком, так же как оно возникает при соприкосновении с другими неметаллическими телами.

В литературе имеются указания на то, что под морскими желудями находятся подходящие анаэробные условия для своего существования десульфуризирующие бактерии⁽⁸⁾. Изучение влияния бактерий на коррозию в узких зазорах⁽²⁾ показывает, что в некоторых случаях жизнедеятельность бактерий может также являться причиной активации поверхности нержавеющей стали под морскими желудями.

Лишь под некоторыми особями из множества морских желудей, оседающих на поверхность нержавеющей стали, возникает коррозионный процесс. Анодный процесс начинается под морскими желудями в тех местах, куда проникает вода. Вследствие неизбежного гидролиза продуктов коррозии на этих участках падает рН электролита^(4, 6). Этот электролит «подъедает» известковое основание*, нарушает герметичность его прилегания и спо-

* Как известно, домик морского желудя состоит на 95—99% из углекислого кальция. Концентрация водородных ионов, при которой морская вода находится в равновесии с твердым осадком, определяется формулой⁽⁵⁾:

$$\text{pH} = -\frac{1}{2} \lg \left(\frac{KK_1K_2}{L_{\text{CaCO}_3}} \cdot P_{\text{CO}_2} [\text{Ca}^{++}] \right).$$

Здесь P_{CO_2} — парциальное давление CO_2 в воздухе (в атм.), K — коэффициент пропорциональности, выражающий растворимость газа при давлении в 1 атм. (в мол/л·атм.), K_1 и K_2 — константы диссоциации угольной кислоты по первой и второй ступеням и L_{CaCO_3} — произведение растворимости.

Для Черного моря, при температуре 20° и содержании CO_2 в воздухе 0,03%,

$$\text{pH} = -\frac{1}{2} \lg \left(\frac{4,5 \cdot 10^{-2} \cdot 4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 5,6 \cdot 10^{-11}}{4,8 \cdot 10^{-9}} \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} \right) = 7,68.$$

Если учесть колебания температуры морской воды от температуры ее замерзания до 25° и содержания CO_2 в воздухе от 0,03 до 0,04%, а также коэффициент активности Ca^{++} , то равновесная величина рН изменяется в пределах 7,85—8,10. При уменьшении рН ниже этой величины возможно растворение CaCO_3 . Именно так может обстоять дело в зоне под морскими желудями. Авторам приходилось, в частности, отмечать на стали IX13 в язвах под морскими желудями падение рН до 5 и ниже.

способствует дальнейшему проникновению воды и развитию анодного процесса под всем основанием морского желудка. Следовательно, для интенсивного коррозионного разрушения под всем основанием достаточно проникновения воды лишь на небольшом участке. Начальное проникновение воды происходит при отмирании морского желудка или при нарушении его жизнедеятельности.

Вследствие резкого понижения величины рН под морским желудком, в застойной зоне, возникшая по любой причине гальваническая пара может в таких условиях работать длительно, так как электролит с низким рН сдвигает электродный потенциал поверхности в отрицательную сторону ⁽⁴⁾, и, следовательно, поверхность металла под основанием домика будет постоянно иметь потенциал ниже, чем у окружающей поверхности, смываемой электролитом с нормальным рН.

В ряде случаев коррозия, возникнув под донышком морского желудка, быстро распространялась за его пределы и в короткое время охватывала значительную поверхность. На рис. 3 показаны такие разрушения. Наши исследования показали, что одной из основных причин развития коррозии за пределы донышка морского желудка и в данном случае будет рН электролита, понижающейся на анодном участке вследствие гидролиза продуктов коррозии. Активирующее действие продуктов коррозии способствует распространению разъедания внутрь металла и за пределами донышка. В нашем случае оседание морских желудей на стальную поверхность послужило начальной причиной разрушения, которое затем развивалось самостоятельно. Изучение работы пар язвы—окружающая поверхность на стали 1Х13 подтвердило это. Катодом был образец размером 200×180×4 мм, анодом явились большие коррозионные язвы различной формы, возникшие под морскими желудями. Язвы вырезались из пластин, находившихся на испытании в море; поверхность вокруг язв изолировалась. Пара погружалась в сосуд с морской водой. Когда язва обеспечивала хорошую застойную зону (своей формой и наличием продуктов коррозии), возникал коррозионный ток. За 5 суток плотность такого анодного тока доходила до 0,15—0,20 ма/см².

Наблюдения показывают, что влияние морских желудей на коррозию с повышением температуры усиливается. Так, в Черном море такое влияние заметнее летом и в южных портах, т. е. тогда и там, где жизнедеятельность морских желудей во всех отношениях интенсивнее.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
7 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. К. Редфилд, Л. Х. Хатчинс, в кн. Морское обрастание и борьба с ним, пер. с англ., 1957, стр. 11. ² Л. А. Розенберг, И. Б. Улановский, Ю. М. Коровин, ДАН 125, № 4 (1959). ³ Н. И. Тарасов, Г. Б. Зевина, Усоногие раки (*Cirripedia thoracica*) морей СССР, Фауна СССР, VI, 1 (1957). ⁴ И. Б. Улановский, Ю. М. Коровин, ЖПХ, 31, № 9 (1958). ⁵ И. Б. Улановский, ЖПХ, 29, № 7 (1956). ⁶ Г. Улиг, Сборн. Коррозия металлов, 1, 1952. ⁷ Ю. Р. Эванс, Коррозия, пассивность и защита металлов, М., 1941. ⁸ H. G. Stubbings, Research, 2, 6, № 9-10 (1953).

Н. Ф. БАРАКИНА

**О МЕХАНИЗМЕ ДЕСТРУКЦИИ КЛЕТОК В КРОВЕТВОРНЫХ ОРГАНАХ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ**

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем, 17 XII 1958)

Деструктивным процессам, развивающимся в радиочувствительных органах (кроветворные органы, кишечник) в ближайшие сроки после облучения, принадлежит существенная роль в лучевом повреждении организма. Между тем природа поражения клеточных элементов в этих системах остается невыясненной. Имеются данные, по которым радиочувствительность клеток при их эксплантации резко снижается. Этот факт привел к предположению, что поражение клеточных элементов в облученном организме отражает не непосредственную клеточную реакцию на воздействие радиации, а является следствием нарушений, наступающих в облученном организме в целом⁽¹⁻³⁾. Вместе с тем имеются данные в пользу представления о близкой радиочувствительности клеток *in vivo* и *in vitro*⁽⁴⁻⁷⁾. Ранее было показано, что в радиочувствительных системах деструктивные процессы развиваются только при непосредственном облучении систем^(8,9). Однако пути и механизмы клеточных нарушений в облученном организме продолжают оставаться невыясненными. Исследованию этого вопроса посвящена настоящая работа, в которой изучалась: 1) судьба клеток костного мозга и селезенки вне организма после их облучения *in vivo* и *in vitro*; 2) способность клеточных элементов костного мозга, облученных *in vitro*, к активации гемопоэза у облученных животных; 3) развитие деструктивных процессов в облученной *in vivo* селезенке в зависимости от ее функционального состояния; 4) поведение облученных *in vitro* клеточных элементов костного мозга, введенных в селезенку необлученным животным.

Опыты ставились на взрослых белых мышах обоего пола. Животные тотально или же изолированная кроветворная ткань подвергались однократному действию рентгеновских лучей в дозах 700, 1000 и 5000 г при 185 кв, 15 ма, фильтр 0,5 мм Cu+0,75 мм Al; мощность дозы 50—85 г/мин. В разные сроки после облучения материал фиксировался в жидкости Ценкера с уксусной кислотой или в метиловом спирте. Окраска производилась гемалауном с докраской эозином, азур-II-эозином и по Фельгену.

Исследование влияния рентгеновских лучей на клеточные элементы костного мозга и селезенки *in vitro* проводилось следующим образом. Костный мозг и селезенку (целиком или кусочками толщиной 0,2—0,5 мм) выделяли из организма, погружали в физиологический раствор, облучали 1000 г и помещали на 4 часа в термостат при 37°. Кроме того, клетки кроветворных органов тотально облученных мышей переносились в физиологический раствор на 2,5—4 часа при 37°. Контролем служили находящиеся в аналогичных условиях необлученные костный мозг и селезенка. Часть экспериментов ставилась в условиях обогащения среды с эксплантированной тканью кислородом. Во всех этих сериях ни в одном случае не удалось обнаружить деструкции клеточных элементов. Как в опыте, так и в контроле имелись лишь незначительные изменения, связанные с автолизом клеток. Облученный 5000 г физиологический раствор не вызывал деструкции клеток костного мозга мышей, облученных 1000 или 5000 г. Эти опыты показывают, что деструкция клеток кроветворных органов, наступающая в облученном организме, не происходит при облучении клеточных элементов *in vitro* или при их извлечении из организма сразу после облучения. Однако отсутствие разрушения облученных клеток не является еще свидетельством их интактности и физиологической полноценности. Как известно, введение

кроветворных элементов в облученный организм вызывает регенерацию кроветворной системы (10^{-14}). В наших опытах этот тест использовался для оценки функционального состояния клеток костного мозга, облученного *in vitro*. Мышам через 1 сутки после общего облучения в дозе 700 г внутривенно вводили суспензию гомологичного костного мозга, облученного *in vitro* 700 г, из расчета $15 \cdot 10^6$ клеток на мышь. Контролем служили облученные 700 г мыши, которым были инъецированы необлученные костномозговые клетки в количестве $10-15 \cdot 10^6$ клеток на мышь, а также животные, не подвергшиеся каким-либо дополнительным воздействиям, кроме общего рентгеновского облучения 700 г. Результат количественного учета клеточных элементов в костном мозгу облученных мышей на гистологических препаратах указанных серий представлен на рис. 1. У облученных животных количество клеток в костном мозгу быстро снижается, достигая 7,5% к норме, и удерживается на этом уровне не менее чем до восьмидесяти суток. В отличие от этого у облученных животных, которым вводилась суспензия необлученных клеток костного мозга, после резкого падения общего числа клеток происходит быстрая репарация, и к 8-м суткам количество клеточных элементов нормализуется. Введение облученным мышам костномозговой суспензии, облученной *in vitro*, не ускоряет у них регенерации костного мозга.

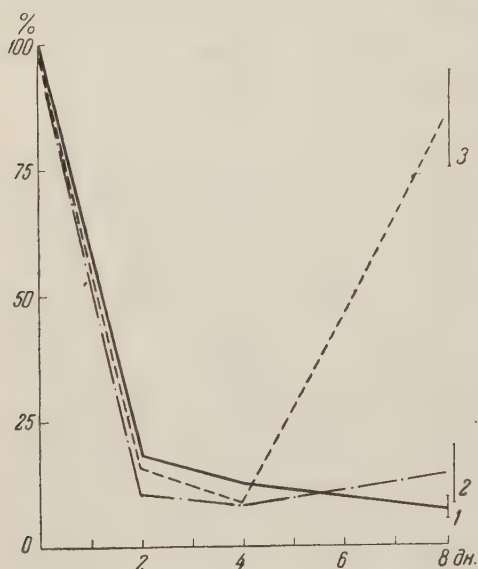


Рис. 1. Процентное содержание клеток костного мозга мышей в различные сроки после облучения рентгеновскими лучами. 1 — тотальное облучение 700 г; 2 — тотальное облучение 700 г с последующим введением гомологичной суспензии клеток костного мозга, облученного *in vitro* 700 г; 3 — тотальное облучение 700 г с последующим введением необлученной гомологичной суспензии клеток костного мозга

Таким образом, клетки костного мозга, облученные *in vitro* рентгеновскими лучами в дозе 700 г, хотя и не разрушаются вне организма, но полностью утрачивают способность восстанавливать гемопоэз у облученных животных, что свидетельствует об их функциональной неполноценности. Это обстоятельство позволило предположить, что радиочувствительность клеток кроветворной системы при их облучении *in vivo* и *in vitro* имеет сходный характер, а повреждение вызывается непосредственным воздействием радиации на эти элементы. Вместе с тем реализация повреждения в виде распада клеток имеет место только при их нахождении в адекватной функционирующей системе организма. Для проверки этого предположения через 5—10 мин. после облучения животного 1000 г селезенку хирургически отделяли и оставляли в брюшной полости. В такой селезенке через 4 часа после облучения не обнаруживалось никаких деструктивных изменений. При отделении в аналогичных условиях части селезенки некробиотические изменения через 4 часа после лучевого воздействия удалось наблюдать только в участке органа, сохранившем связи с организмом (рис. 2). Эти результаты показали, что массовое разрушение клеток в результате облучения не наступает в кроветворной ткани в том случае, если ее нормальная связь с организмом нарушена. Это заключение получило подтверждение в опытах с наложением лигатуры на нервно-сосудистый пучок селезенки через 5—10 мин. после облучения мыши 1000 г. В изолированной таким путем селезенке даже при сохранении лигатуры в течение 4 час. разрушения клеточных элементов

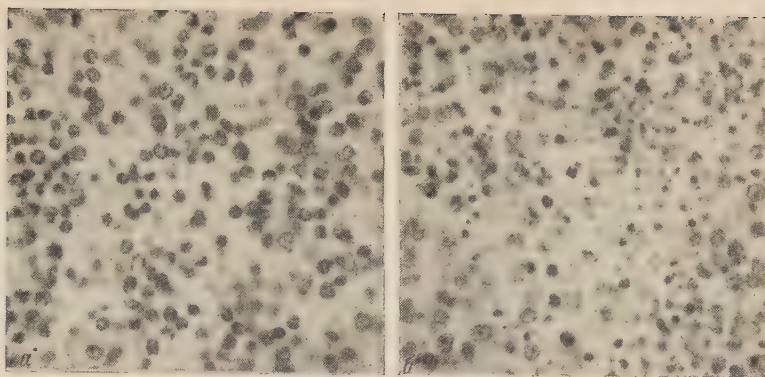


Рис. 2. Селезенка мыши через 4 часа после тотального облучения в дозе 1000 г. $600\times$. *a*—хирургически удаленная и оставленная в брюшной полости часть селезенки — нет видимых морфологических изменений; *б* — участок той же селезенки, соединенной с организмом — значительные деструктивные процессы

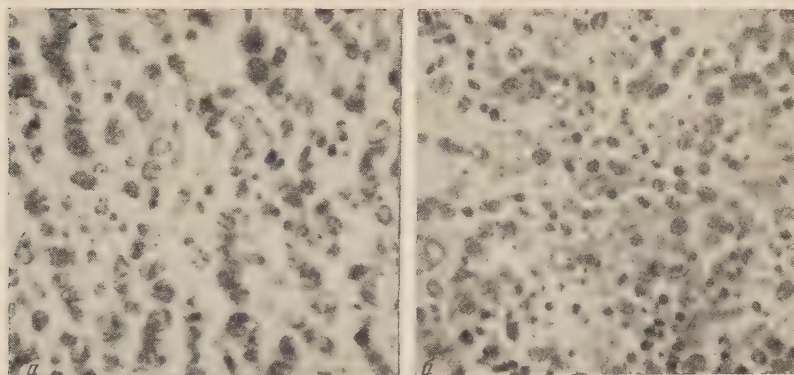


Рис. 3. Селезенка мышей, тотально облученных в дозе 1000 г. В течение 1 часа после облучения на нервно-сосудистый пучок селезенки была наложена лигатура. $600\times$. *a* — через 6 час. после облучения — слабо выражены деструктивные процессы; *б* — через 1 сутки после облучения — деструктивные процессы достигают максимума

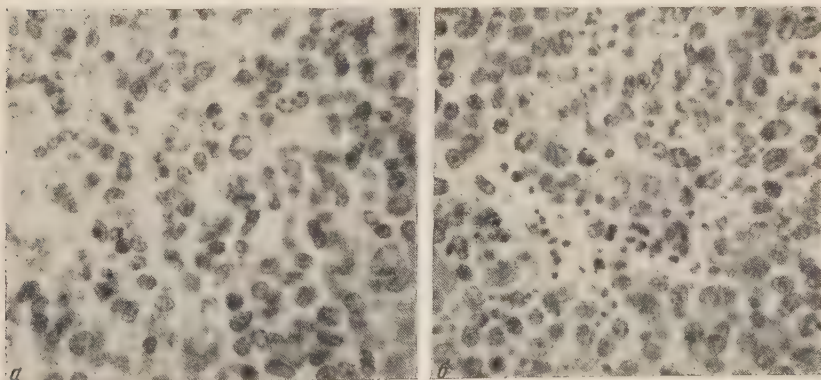


Рис. 4. Селезенки необлученных мышей через 4 часа после введения гомологичной суспензии клеток костного мозга. $600\times$. *a* — вводилась необлученная суспензия — нет видимых морфологических изменений; *б* — вводилась облученная *in vitro* суспензия — участок с интенсивно идущим распадом клеток

не обнаружено. Снятие лигатуры с нервно-сосудистого пучка селезенки мышцей, облученных 1000—5000 г, через 1—3 часа после ее наложения неизменно приводит к развитию типичных деструктивных процессов в этом органе. Некробиотические процессы при этом развиваются несколько медленнее, чем у контрольных животных, облученных без последующего наложения лигатуры. Через 6 час. после облучения они выражены еще относительно слабо и достигают максимума к концу первых суток после воздействия (рис. 3).

Для выяснения вопроса о том, происходит ли распад облученных *in vitro* клеток при их введении в организм, взвесь таких клеток сразу после облучения 1000 г инъецировалась непосредственно в селезенку необлученных мышей (0,1 мл в физиологическом растворе). Контрольным животным в селезенку вводили равную по концентрации суспензию клеток необлученного костного мозга. Через 4 часа после введения соответствующий участок селезенки фиксировался и исследовался гистологически. В контрольной серии распадающихся клеток не обнаружено. В отличие от этого в селезенке, в которую вводили облученные *in vitro* костномозговые клетки, были отмечены интенсивно идущие деструктивные процессы (рис. 4).

Представленные материалы свидетельствуют о том, что облученные *in vitro* клетки кроветворной системы, хотя морфологически и не обнаруживают повреждения, находясь вне организма, в действительность являются пораженными. Они оказываются неспособными восстановить гемопоэтическую систему облученных животных и претерпевают типичные для радиационного поражения разрушения, будучи введенными в кроветворную систему необлученных животных. Существенно отметить, что находящиеся в облученном организме кроветворные элементы не претерпевают деструктивных изменений в тех случаях, когда хирургическим путем или лигатурой нарушена обычная связь соответствующего кроветворного органа с организмом. При нормализации функции данного участка кроветворной системы в результате снятия лигатуры в нем наблюдается типичное для радиационного воздействия массовое разрушение клеток. Аналогичная задержка распада кроветворных клеток и развития лучевого поражения в других системах отмечалась некоторыми авторами в случае облучения животных, находящихся в состоянии спячки или глубокого наркоза (^{15,16}). Таким образом, радиочувствительность клеток кроветворных органов *in vivo* и *in vitro* существенно не различается, и, следовательно, деструкция кроветворных элементов может быть объяснена их непосредственным поражением радиацией. Однако распад облученных клеток кроветворных органов может происходить только при условии пребывания их в обычной, присущей им функционирующей системе. Можно предположить, что деструкция поврежденных радиацией клеток кроветворных органов наступает в результате выполнения ими каких-то специфических функций, протекающих только в условиях организма.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
16 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Кронтовский, Эксперим. и клинич. рентгенология. Харьков, 1926, стр. 7. ² M. Schubert, Strahlentherapie., 26, 425 (1927). ³ O. A. Trowell, Brit. J. Radiol., 26, 302 (1953). ⁴ H. M. Patl, M. E. Blackeord, R. L. Straube, Proc. Soc. Exp. and Biol. Med., 80, 92 (1952). ⁵ Л. Якобсон, Э. Маркс, Э. Гастон, Вопросы радиобиологии. ИЛ, 1956, стр. 198. ⁶ Л. Коля, М. Эллис, Вопросы радиобиологии. ИЛ, 1956, стр. 227. ⁷ J. Soška, Československá biologie, 7, 30 (1958). ⁸ J. L. Edwards, S. C. Sommers, J. Lab. Clin. Med., 40, 342 (1952). ⁹ Н. Ф. Баракина, ДАН, 121, 631 (1958). ¹⁰ E. Lorenz, C. Congdon, D. Uphoff, Radiology, 58, 863 (1952). ¹¹ Э. Я. Граевский, Сборн. Сессия АН СССР по мирному использов. атомн. энергии, 1955, стр. 34. ¹² C. E. Ford, I. L. Hamerton, D. W. H. Barnes, J. F. Loutit, Nature, 177, 452 (1956). ¹³ P. C. Nowell, L. J. Cole, J. G. Habemeyer, P. L. Roau, Cancer Research, 16, 258 (1956). ¹⁴ C. E. Ford, R. L. Ilbery, J. F. Loutit, J. Cell. and Comp. Physiol., 50, 109 (1957). ¹⁵ K. C. Brace, Science, 116, 570 (1952). ¹⁶ М. Д. Померанцев, Журн. общ. биологии, 18, 194 (1957).

С. О. УРЫСОН и член-корреспондент АН СССР А. Н. БЕЛОЗЕРСКИЙ

НУКЛЕОТИДНЫЙ СОСТАВ ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВЫХ И РИБОНУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ НЕКОТОРЫХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Изучению нуклеотидного состава нуклеиновых кислот в связи с проблемой специфичности этой группы соединений посвящены многочисленные работы. Однако достаточно обширно этот вопрос изучен только в отношении бактерий и животных.

Что касается высших растений, то авторы имеющихся единичных работ (¹⁻³) не ставили своей задачей изучение этого вопроса в систематическом аспекте, и поэтому из имеющихся литературных данных нельзя сделать каких-либо заключений о специфичности нуклеотидного состава дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и рибонуклеиновой кислоты (РНК) у высших растений.

Целью настоящей работы было изучение суммарного нуклеотидного состава ДНК и РНК высших растений, относящихся к различным и далеко отстоящим систематическим группам. Помимо этого большой интерес представляло выяснение вопроса о том, обязательно ли в состав ДНК разных видов растений входит 5-метилцитозин, который в качестве пятого основания был обнаружен в составе ДНК зародышей пшеницы (^{1,3}).

Для исследования были взяты 7 различных видов высших растений, относящихся к 6 различным семействам, 3 классам и 2 типам.

Объектами исследования служили семена. В 4 объектах было проведено предварительное отделение зародышей (кедровый орех, пшеница) и семенных ростков (фасоль, арахис), в 3 случаях семена использовались целиком (мак, тыква, лук).

Исходный материал, измельченный в тонкую муку, обезжиривали смесью спирта и эфира (3:1) и сухим эфиром, а затем высушивали в вакуум-экстракторе. Навеска материала, необходимого для одного гидролиза, составляла от 0,3 до 2,0 г в зависимости от содержания нуклеиновых кислот в испытуемом материале.

В основу нашей работы был положен метод определения нуклеотидного состава нуклеиновых кислот, описанный в работе Спирина и Белозерского (⁴). Методические дополнения и изменения, внесенные нами, заключались в применении другого способа хроматографического разделения азотистых оснований, определении 5-метилцитозина и замены хроматографии электрофорезом при изучении РНК.

Определение состава ДНК в растениях без предварительного выделения препарата при условии очень низкого содержания нуклеиновых кислот у большинства видов осложнялось тем, что гидролизаты были загрязнены примесями различной природы, которые в ряде случаев искажали получаемые результаты. Наибольшие затруднения возникали при определении 5-метилцитозина, содержание которого было сравнительно невелико. Вследствие этого применение какого-либо одного хроматографического метода, используемого обычно при работе с бактериями или очищенными препаратами ДНК, оказалось недостаточным, и процесс разделения оснований был нами несколько усложнен путем сочетания различных приемов.

Для разделения полученных в результате гидролиза пуриновых и пиримидиновых оснований применяли метод нисходящей хроматографии на бумаге, для чего были использованы две различные смеси растворителей, а также метод «ре-хроматографии». Смесь I (кислая) состояла из 68% изопропилового спирта в 2 N HCl ⁽³⁾ и позволяла разделить 5 азотистых оснований. Смесь II (слабощелочная) состояла из 60 частей *n*-бутанола и 10 частей 0,1 N NH₄OH ⁽⁴⁾ и позволяла разделить 4 основания. Для хроматографии использовали бумагу «Ленинградская медленная», промытую 20% муравьиной кислотой. На одну хроматограмму для смеси I наносили не более 40 мкл; на хроматограмму для смеси II — до 100—150 мкл.

Использование обеих смесей, с одной стороны, помогало уточнять получаемые результаты, с другой — позволяло провести достоверную идентификацию и определение 5-метилцитозина, который помимо непосредственного определения на хроматограммах, полученных в смеси II, во всех случаях был определен после его так называемой «рехроматографии».

Для проведения «рехроматографии» с 2—4 готовых хроматограмм, полученных в смеси I, вырезали участки, содержащие пятна цитозина и 5-метилцитозина, которые количественно переносили водой в одну точку на чистый лист бумаги и вновь хроматографировали в смеси II. Перенос пятен осуществляли способом, описанным в работе Энгельгардта, Баева и Венкстерн ⁽⁵⁾.

Для расчета количества микромолей 5-метилцитозина в 5 мл элюата служил коэффициент выведенный нами на основании литературных данных ⁽⁶⁾, 0,893Δ_{280мкм—300мкм}.
В табл. 1 представлены результаты определений суммарного состава ДНК 7 видов растений. Для каждого образца получали не менее 3—5 гидролизатов, каждый из которых служил материалом для постановки от 3 до 8 хроматограмм; таким образом, все

Таблица 1
Нуклеотидный состав ДНК различных растений

Вид	Содержание оснований, мол. %						$\frac{Г+Т}{А+Ц+М_4}$	$\frac{А+Т}{Г+Ц+М_4}$	$\frac{Г+Ц+М_4}{А+Т}$
	Г	А	Ц	МЦ	Т	$\frac{Г}{Ц+М_4}$			
Кедровая сосна (<i>Pinus sibirica</i>)	20,8	29,2	14,6	4,9	30,5	1,07	1,05	1,48	0,675
Мак (<i>Papaver somniferum</i>)	20,6	29,6	14,8	5,3	29,8	1,04	1,01	1,46	0,686
Тыква (<i>Cucurbita pepo</i>)	21,0	30,2	16,1	3,7	29,0	1,06	1,04	1,44	0,691
Фасоль (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	20,6	29,7	14,9	5,2	29,6	1,03	1,01	1,45	0,688
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i>)	20,3	29,3	14,4	6,1	29,8	0,99	0,99	1,05	0,690
Пшеница (<i>Allium cepa</i>)	18,4	31,8	12,8	5,4	31,3	1,01	0,99	1,47	0,580
Пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	23,8	25,6	18,2	6,4	26,0	0,97	0,99	1,07	0,935

Примечание. Пур — пуриновые основания; Пир — пиримидиновые основания; А — аденин; Г — гуанин; Ц — цитозин; МЦ — 5-метилцитозин; Т — тимин.

приведенные цифры являются средними 10—15 параллельных определений, а в случае 5-метилцитозина, определенного после «рехроматографии», средними не менее чем из 5—6 определений. Во всех случаях проводили спектрофотометрическую идентификацию пятен на основе литературных данных ⁽⁶⁾.

При рассмотрении табл. 1 прежде всего обращает на себя внимание сходство суммарного состава ДНК всех изученных видов. Значение коэффициента специфичности $\frac{\Gamma + \Pi + \text{МЦ}}{\text{А} + \text{Т}}$ укладывается в пределы 0,580—0,935. ДНК

всех изученных видов относились к АТ-типу, состав их подчинялся правилам Чаргаффа. ДНК всех изученных объектов содержали 5-метилцитозин.

Некоторый намек на наличие видовой специфичности можно усмотреть в растениях, относящихся к классу однодольных (лук и пшеница), однако для утверждения этого факта пока нет достаточного материала.

Нуклеотидный состав РНК определяли методом горизонтального электрофореза на бумаге ⁽⁷⁾ в электрофоретическом аппарате одновременно на 4 полосках бумаги величиной 4×35 см. Разделение нуклеотидов осуществлялось на промытой бумаге «Ленинградская быстрая» в 0,08 М аммиачно-ацетатном буферном растворе при рН 3,5 и градиенте напряжения около 16,4 в/см за 4,5 часа. Указанные условия электрофореза были отработаны в нашей лаборатории Б. Ф. Ванюшиным.

На смоченную буферным раствором бумажную полоску наносили 40—80 мкл полученной после отделения ДНК смеси нуклеотидов, которая предварительно несколько упаривалась в вакуум-эксикаторе при комнатной температуре. Точка нанесения находилась вблизи катода, и нуклеотиды, двигаясь к аноду, располагались в следующем порядке: цитидиловая кислота, адениловая кислота, гуаниловая кислота, уридиловая кислота.

Все дальнейшие операции и расчеты производили так же, как при хроматографическом определении состава РНК ⁽⁴⁾.

Данные о количественном соотношении нуклеотидов в РНК, приведенные в табл. 2, являются средними не менее чем из 4 определений в каждом из 2—3 параллельных гидролизатов.

Таблица 2

Нуклеотидный состав РНК различных растений

Вид	Содержание нуклеотидов, мол. %				Пур Пир	$\frac{\Gamma + \text{У}}{\text{А} + \text{Ц}}$	$\frac{\Gamma + \text{Ц}}{\text{А} + \text{У}}$
	Г	А	Ц	У			
Кедровая сосна (<i>Pinus sibirica</i>)	31,3	25,1	24,3	19,3	1,27	1,02	1,25
Мак (<i>Papaver somniferum</i>)	30,3	25,3	25,1	19,3	1,25	0,99	1,24
Тыква (<i>Cucurbita pepo</i>)	30,6	25,2	24,8	19,4	1,26	1,00	1,24
Фасоль (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	31,4	24,9	24,1	19,6	1,26	1,04	1,25
Арахис (<i>Arachis hypogaea</i>)	30,9	25,3	24,6	19,2	1,28	1,01	1,25
Лук (<i>Allium cepa</i>)	29,8	24,9	24,7	20,6	1,21	1,01	1,20
Пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	30,8	25,2	25,4	18,6	1,27	0,98	1,28

Примечание. Пур — пуриновые основания; Пир — пиримидиновые основания; А — адениловая кислота; Г — гуаниловая кислота; Ц — цитидиловая кислота и У — уридиловая кислота.

На основании представленных в табл. 2 данных можно сделать заключение о том, что по своему нуклеотидному составу РНК высших растений относятся к ГЦ-типу, подчиняются правилам Чаргаффа и почти не отличаются у разных видов. Сравнивая нуклеотидный состав РНК высших растений с нуклеотидным составом РНК бактерий, изученных ранее в нашей лаборатории ⁽⁸⁾, следует отметить, что РНК как у бактерий, так и у высших растений имеет довольно близкий нуклеотидный состав. Таким образом, специфичность РНК, если она имеет место, может обуславливаться, видимо,

главным образом последовательностью чередования нуклеотидов в цепи молекулы РНК.

Неожиданным оказалась необычайно малая вариабильность нуклеотидного состава ДНК у высших растений. В самом деле, если у различных бактерий показатель специфичности — отношение $\frac{G+C}{A+T}$ — варьирует, по данным нашей лаборатории (⁸), в пределах от 0,45 до 2,80, то у высших растений — только от 0,58 до 0,94.

Следует отметить, что если исходить из литературных данных, то и для высших животных вариации в нуклеотидном составе ДНК укладываются в те же пределы, что и у высших растений. Кроме того, для высших растений и для высших животных общим является то, что их ДНК относится к АТ-типу и характеризуется содержанием еще и пятого нуклеотида, содержащего в качестве основания 5-метилцитозин. У животных количество этого нуклеотида невелико и, по-видимому, не превышает 1,5—2,0% от суммарного количества всех нуклеотидов, в то время как у высших растений содержание его доходит до 6—7%.

Какова причина такой малой вариабильности нуклеотидного состава ДНК у высших форм в сравнении с бактериями остается пока загадкой. Следует думать, что у высших организмов специфичность ДНК, видимо, также имеет место, обуславливаясь, вероятно, последовательностью нуклеотидов в цепи молекулы ДНК.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
21 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Lipshitz, E. Chagaff, *Biochim. et Biophys. Acta*, **19**, 256 (1956).
² A. J. Thomas, H. S. Sherratt, *Biochem. J.*, **62**, 1 (1956); H. Leyon, *Acta Chem. Scand.*, **11**, 1599 (1957); D. W. Cooper, H. S. Loring, *J. Biol. Chem.*, **228**, 813 (1957); K. K. Reddi, *Biochim. et Biophys. Acta*, **23**, 208 (1957); Ж. А. Медведев, Н. Н. Заболоцкий, *Изв. Тимирязевск. с.-х. акад.*, № 3, 207 (1958). ³ G. R. Wyatt, *Biochem. J.*, **48**, 584 (1951). ⁴ А. С. Спирин, А. Н. Белозерский, *Биохимия*, **21**, 767 (1956). ⁵ В. А. Энгельгардт, А. А. Баев, Т. В. Венкстерн, *Биохимия*, **24**, № 1 (1959). ⁶ G. H. Beaven, E. R. Holiday, E. Johnson, *The Nucleic Acids*, N. Y., **1**, 1955, p. 493. ⁷ J. D. Smith, *The Nucleic Acids*, N. Y., **1**, 1955, p. 267. ⁸ А. С. Спирин, А. Н. Белозерский, Н. В. Шугаева, Б. Ф. Ванишин, *Биохимия*, **22**, 744 (1957).

Член-корреспондент АН СССР Н. М. ЭМАНУЭЛЬ и Л. П. ЛИПЧИНА

ПОТЕРЯ БЛАСТОМАГЕННЫХ СВОЙСТВ ВИРУСА САРКОМЫ РОУСА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОПИЛГАЛЛАТА

Среди злокачественных новообразований известен ряд опухолей, перевивающихся не только путем трансплантации опухолевых клеток, но и путем введения бесклеточных фильтратов, полученных из опухолевых тканей.

В работе ⁽¹⁾ нами была установлена потеря способности клеток различных опухолей прививаться после воздействия на них одного из ингибиторов цепных окислительных процессов, а именно пропилгаллата. При этом необходимо напомнить, что потеря опухолевыми клетками способности прививаться не была обусловлена денатурацией белка. Клетки, отмытые от ингибитора физиологическим раствором, снова становятся бластомагенными. Среди них были клетки и таких опухолей, которые способны перевиваться бесклеточными фильтратами, т. е. имеют вирусную природу (саркома Роуса у кур, лейкоз у мышей ⁽²⁾).

В свете взглядов, которых мы придерживаемся по поводу роли свободных радикалов в процессах опухолевого роста ⁽³⁾, интересны указания, что в ряде случаев размножение вирусов происходит не путем деления, а путем превращения в вирус цитоплазмы клеток ⁽⁴⁾. В таком случае прогрессивное размножение вирусов в клетке приобретает характер, аналогичный развитию нестационарных химических процессов, стимулированных свободными радикалами ⁽⁵⁾. Как известно, мысль об автокаталитическом характере размножения вирусов в литературе уже высказывалась ^(6,7). Интересны также факты легкой инактивации вирусов в результате окисления кислородом ⁽⁸⁾. Все эти факты могут свидетельствовать о свободнорадикальном характере частиц вируса.

Таким образом, можно было предположить, что потеря опухолевыми клетками фильтрующихся новообразований способности прививаться после воздействия ингибиторов может быть связана с утратой вирусом свободнорадикальных свойств.

Как следствие этой точки зрения может быть сделан вывод о возможности инактивации опухолеродных вирусов и об утрате бесклеточными фильтратами (содержащими вирусы) своих бластомагенных свойств в результате воздействия ингибиторов свободнорадикальных (цепных) процессов.

В качестве экспериментальной модели использовался фильтрат саркомы Роуса у кур. Следует отметить, что подавляющая часть опубликованных исследований свойств агента саркомы Роуса была выполнена именно с фильтратом, а не с вирусом как таковым. Это обстоятельство, конечно, снижает ценность полученных результатов, поскольку в фильтрате кроме вируса содержатся разнообразные ферментные системы, роль которых в процессах возникновения саркомы Роуса заслуживает самостоятельной оценки.

Потеря вирусами (включая и вирус саркомы Роуса) своих бластомагенных свойств (маскировка вируса) давно освещается в литературе. В част-

ности, отмечается утрата активности фильтрата в старых, медленно растущих опухолях. Имеются указания ⁽⁹⁾, что в подобных опухолях содержится ингибитор, блокирующий blastomagenные свойства вируса. Этот ингибитор разрушается при освещении большими дозами рентгеновских лучей ⁽¹⁰⁾. Естественный ингибитор повреждается также при обработке фильтрата трипсином ⁽¹¹⁾.

В наших опытах фильтрат саркомы Роуса готовился общепринятым способом, и лишь в конце процедуры фильтрование через свечи заменялось, как это применяется многими исследователями, повторным центрифугированием при 3000 об/мин. Отсутствие опухолевых клеток контролировалось путем просмотра мазков под микроскопом. Полученный фильтрат делился на части. К одной из них прибавлялся (в разведении 1:1) физиологический раствор (контроль), к другим — пропилгаллат, растворенный в физиологическом растворе.

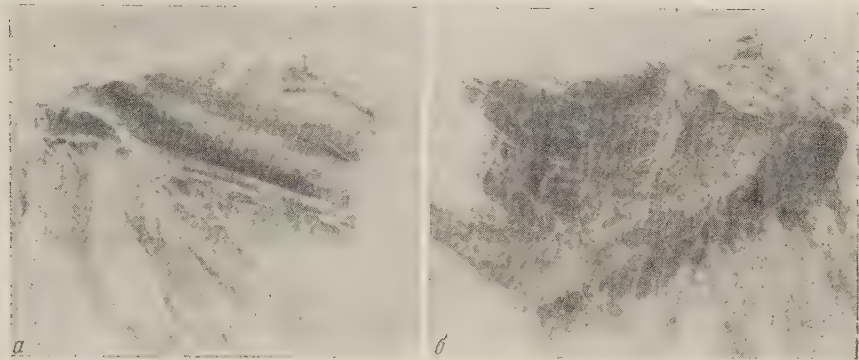


Рис. 1. Потеря blastomagenных свойств вируса саркомы Роуса при воздействии пропилгаллата. *а* — левое крыло, в которое был введен фильтрат, ингибированный пропилгаллатом (0,75 % раствор), опухоль не возникла; *б* — правое крыло, в которое был введен фильтрат без ингибитора, развилась большая опухоль

Прибавление пропилгаллата к фильтрату не вызывало резких сдвигов в величине рН, которая удерживалась в пределах 6,7—6,9. Фильтраты выдерживались в растворе пропилгаллата в течение 30 мин.

В опытах использовались 0,75; 0,15 и 0,075% растворы пропилгаллата. Все операции велись на льду. Опытный и контрольный материал одновременно вводился внутривенно одной и той же курице в дозе 0,15—0,2 мл соответственно в правое и левое крыло.

Латентный период возникновения опухолей при введении фильтрата, не обработанного пропилгаллатом, колебался в разных сериях опытов от 7 до 12 дней. Колебания внутри каждой серии были менее значительны. Темп роста опухоли у разных кур варьировал. Куры погибали в сроки от 18 до 30 дней, а в отдельных случаях через 1,5 мес.

При введении фильтрата, ингибированного 0,75% раствором пропилгаллата, опухоль, как правило, не возникала (рис. 1 *а*, *б*). Лишь у 3 кур из 30 появились опухоли. Однако темп роста этих опухолей был резко замедлен. Так, к 18—20 дню после введения фильтрата опухоль в контроле достигала размеров куриного яйца, а в опыте — только горошины. При введении фильтрата, ингибированного 0,15% раствором пропилгаллата, опухоли возникали, но темп их развития был заторможен. Ингибирование 0,075% раствором пропилгаллата оказалось неэффективным.

Следуя принятой в литературе качественной терминологии для характеристики влияния обработки материала на содержащийся в нем вирус, можно резюмировать, что обработка фильтрата 0,75% раствором пропилгаллата приводит к потере фильтратом своих blastomagenных свойств.

Как известно, вирус саркомы Роуса представляет собою липонуклео-протеид, в состав которого входит рибонуклеиновая кислота (РНК). Нами было установлено, что при воздействии пропилгаллата содержание РНК в опухолевых клетках (лейкоз у мышей, саркома Роуса у кур и др.) значительно снижается, а клетки теряют способность прививаться ⁽¹⁾. В то же время, введением очищенной РНК удалось вызвать у мышей лейкоз ⁽¹²⁾. Наряду с этим воздействие пропилгаллата на зафиксированные клетки, т. е. на клетки с денатурированным белком и инактивированными ферментами, изменений в содержании РНК не вызывает ⁽¹⁾. В незафиксированных (живых) клетках, снижение содержания РНК связано с подавлением активности окислительно-восстановительных ферментов ⁽¹³⁾. Поэтому в ходе дальнейших исследований должно быть изучено влияние ингибитора на максимально очищенный препарат вируса, свободный от ферментов.

Кроме того, следует иметь в виду точку зрения, что вирусы в известной мере самостоятельны в своем обмене веществ ⁽¹⁴⁾. Это означает, что при анализе механизмов инактивации вирусов нельзя упускать из поля зрения и возможность воздействия инактивирующих (ингибирующих) средств и на эти обменные механизмы.

Если окислительно-восстановительные ферменты и играют роль при возникновении вирусной опухоли, то при оценке их удельного веса следует иметь в виду, что пропилгаллат полностью подавляет активность окислительно-восстановительных ферментов, содержащихся в бесклеточном фильтрате саркомы Роуса. Поставленные нами опыты с метиленовой синью по Тунбергу показали подавление пропилгаллатом активности дегидраз, имеющих в фильтрах.

Авторы выражают благодарность Р. М. Радзиховской за помощь при выполнении этой работы.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
11 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. М. Эмануэль, Л. П. Липчина, И. И. Пелевина, ДАН, **125**, № 2 (1959). ² L. Gross, Cancer Res., **1**, 17 (1954). ³ Н. М. Эмануэль, Л. П. Липчина, ДАН, **121**, 141 (1958). ⁴ P. Lepine, VI Internat. Congr. Microb., Roma, 1953. ⁵ Н. Н. Семенов, Цепные реакции, ОНТИ, Л., 1934. ⁶ W. Stanley, Am. Naturalist, **78**, 110 (1938). ⁷ J. Northrop, J. Gen. Physiol., **21**, 335 (1939). ⁸ A. Pirie, Brit. J. Exp. Pathol., **12**, 373 (1931). ⁹ L. Dmochowski, J. Nat. Cancer Inst., **9**, 12 (1948). ¹⁰ B. Miszurski, M. Pikowski, G. Goldhaber, L. Dolljanski, Cancer Res., **5**, 422 (1945). ¹¹ S. Baker, J. McIntosh, Brit. J. Exp. Pathol., **8**, 257 (1927). ¹² F. Lacour, VII Internat. Congr. Gemathol., Roma, 1958. ¹³ Н. М. Эмануэль, Л. П. Липчина, И. И. Пелевина, Т. Э. Липатова, ДАН, **124**, № 5 (1959). ¹⁴ Л. А. Зильбер, Учение о вирусах, 1956.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Академик А. П. ВИНОГРАДОВ, В. М. КУТЮРИН, М. В. УЛУБЕКОВА
и И. К. ЗАДОРЖНЫЙ

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КИСЛОРОДА ФОТОСИНТЕЗА

Первое наше определение изотопного состава кислорода фотосинтеза ⁽¹⁾ и другие исследования ⁽²⁾ показали важность установленного факта происхождения кислорода фотосинтеза из воды в результате дегидрогенизации. Оставшуюся неясной разницу между изотопным составом кислорода воды и фотосинтеза (она варьировала в более поздних работах от 1 до 2,5 γ) пытались объяснить методической ошибкой или обменом между выделяющимся при фотосинтезе кислородом и клеточной водой ⁽³⁾. Отрицать вероятность такого обмена без знания механизма выделения кислорода при фотосинтезе было нельзя. Однако появившиеся вскоре работы установили отсутствие обмена между O₂ и H₂O, OH, HOON, —O—O— при электролизе ⁽⁴⁾, при действии каталазы ⁽⁵⁾. Естественно, возникала необходимость уточнения изотопного состава кислорода фотосинтеза, особенно для морских организмов.

Поэтому нами была проведена работа по уточнению изотопного состава кислорода пресноводного фотосинтеза (спыты с *Elodea canadensis*) и по определению изотопного состава кислорода фотосинтеза морского фитопланктона (были взяты главным образом диатомовые водоросли).

В опытах с *Elodea canadensis* вода предварительно освобождалась от растворенного в ней кислорода пропусканием в течение 2—3 час. свободного от кислорода аргона до содержания кислорода 0,3—1 мл/л. Фотосинтез проводился в солнечную погоду в оптимальных условиях ⁽⁶⁾. Первые порции выделяемого кислорода многократно сбрасывались (не менее 100 мл), после чего кислород собирался в ампулах, предварительно откачанных до давления 10⁻² ммрт. ст., и подвергался масс-спектральному анализу на двухлучевом масс-спектрометре МС-2 компенсационным методом. Результаты приведены в табл. 1.

Необходимо отметить, что многократный сброс газа был обусловлен не только стремлением освободиться от примеси воздушного кислорода (который, как известно, тяжелее кислорода фотосинтеза на 6,5 γ), но и восстановить истинный изотопный состав фотосинтетического кислорода, нарушаемый дыханием растений при стоянии растений в темноте. Дыхание вызывает утяжеление остающегося кислорода благодаря предпочтительному связыванию изотопа O¹⁶, коэффициент фракционирования равен 1,018 ⁽⁷⁾. Поэтому в опытах №№ 2, 3 и 6, когда кислород собирался после ночного стояния без сброса, содержание изотопа O¹⁸ увеличивалось. Расчет показал,

Таблица 1

Изотопный состав кислорода фотосинтеза
Elodea canadensis

№№ п. п.	Δ O ¹⁸ , % к O ¹⁸ возд.	Δ O ¹⁸ , % к O ¹⁸ воды	Сброс, мл	O ¹⁸ кисло- рода фото- синтеза, %
1	-2,35±0,03	-5,2	130	0,1992
2	-1,92±0,04	-4,2	130	0,2001
3	-2,07±0,03	-4,6	140	0,1998
4	-2,33±0,04	-5,2	170	0,1992
5	-2,36±0,04	-5,2	150	0,1992
6	-2,14±0,04	-4,7	150	0,1997
7	-2,32±0,04	-5,2	180	0,1992

что в опытах, длившихся несколько дней, необходим сброс не менее 50 мл кислорода после ночного перерыва.

В опытах с морским фитопланктоном, проведенных на Севастопольской биологической станции АН СССР, предыдущая методика сбора кислорода была неприемлема из-за меньшей интенсивности фотосинтеза фитопланктона. Кроме того, обезгаживание питательного раствора приводило к резкому

Таблица 2

Изотопный состав кислорода фотосинтеза морского фитопланктона

Видовой состав фитопланктона	$\Delta O^{18}, \% \text{ к } O^{18} \text{ возд.}$	O^{18} кислорода фотосинтеза, %	Дыхание, %	O^{18} остаток кислорода с учетом дыхания, %
1. <i>Chatocerus curvisetus</i> <i>Chatocerus Lauder</i> <i>Nitzschia closterium</i>	$-1,99 \pm 0,03$	0,1999	15	0,1993
2. <i>Skeletonema costatum</i> <i>Chatocerus curvisetus</i>	$-1,72 \pm 0,03$	0,2005	25	0,1995

снижению интенсивности фотосинтеза: при снижении концентрации кислорода от 6 до 1,8 мл/л интенсивность фотосинтеза водорослей упала в три раза. Можно предположить, что падение интенсивности фотосинтеза было обусловлено также снижением концентрации свободной углекислоты, выдуваемой током аргона. Поэтому изотопный состав кислорода фотосинтеза морского фитопланктона определялся по разности изотопного состава кислорода после опыта и кислорода в начале опыта, до проведения фотосинтеза. Количество фотосинтетического кислорода учитывалось методом Винклера по разности конечного и начального содержания кислорода. Одна часть питательного раствора с водорослями подвергалась обезгаживанию кипячением в течение 1,5—2 час., выделившийся газ запаивался в ампулы. В другой части этого же питательного раствора с водорослями проводился фотосинтез так, чтобы не достигалось кислородное насыщение в растворе. После окончания фотосинтеза этот раствор быстро переводился с помощью сифона в систему, где обезгаживался, а газ, собранный в ампулу, как и предыдущий, поступал на масс-спектрометр. Стандартным газом служил, как и в опытах с *Elodea canadensis*, кислород воздуха. Данные масс-спектрального определения приведены в табл. 2.

Среднее значение изотопного состава кислорода * фотосинтеза морского фитопланктона, равное 0,2002, лишь на 0,0009%, или на 1,0 γ, больше, чем у морской воды. Это значит, что кислород фотосинтеза на 90% происходит из воды. В случае фотосинтеза *Elodea canadensis* соответствующий расчет дает значение 82% (обогащение в этом случае составляет 1,2 γ).

Следует подчеркнуть, что некоторое обогащение кислорода фотосинтеза изотопом O^{18} по сравнению с водой мы объясняем фракционированием изотопов кислорода при дыхании растений, которое идет в сторону предпочтительного связывания изотопа O^{16} , т. е. к утяжелению остающегося от дыхания кислорода фотосинтеза. Интенсивность дыхания, как известно, варьирует в пределах 10—20% и повышается с ухудшением условий культивирования растений. Работы последних лет показали, что коэффициент фракционирования изотопов растениями зависит от их физиологического состояния (он уменьшается в более благоприятных условиях). Принимая среднее значение коэффициента фракционирования при дыхании за 1,018, мы привели

* Как и в опытах с *Elodea canadensis*, мы указываем отношение изотопов $O^{18} : O^{16}$ не учитывая изотопа O^{17} , содержание которого ничтожно.

в табл. 2 «исправленные» значения процентного содержания O^{18} в кислороде фотосинтеза, вычисленные по известной формуле (*):

$$(\alpha - 1) \ln \frac{C_2}{C_1} = \ln \frac{y_2}{y_1},$$

где α — коэффициент фракционирования, C_1 — концентрация кислорода до дыхания, C_2 — концентрация кислорода после дыхания, y_1 — O^{18} исходн в %, y_2 — O^{18} конечн в %.

В опытах с *Elodea canadensis* интенсивность дыхания не определялась. Принимая эту величину равной 15%, для процентного содержания O^{18} фотосинтеза получаем значение 0,1986 (в то время как содержание O^{18} в воде равно 0,1981%). Во всех случаях элиминирование дыхания приближает изотопный состав кислорода фотосинтеза к изотопному составу кислорода воды настолько, что не остается сомнения в том, что весь кислород фотосинтеза — водного происхождения. Незначительные отклонения изотопного состава кислорода фотосинтеза от изотопного состава кислорода воды в опытах с *Elodea canadensis* и в опыте № 2 с морским фитопланктоном (опыт № 1 совпал после элиминирования полностью) являются следствием отклонения коэффициента фракционирования изотопов кислорода при дыхании от принятого среднего значения.

Поступило
16 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. П. Виноградов, Р. В. Тейс, ДАН, 33, 497 (1941); 86, 576 (1947).
² S. Ruben, M. Randall, M. Kamen, J. L. Hyde, J. Am. Chem. Soc., 63, 877 (1941).
³ A. H. Brown, A. W. Frenkel, Ann. Rev. of Biochem., 22, 423 (1953).
⁴ W. C. Schumb, Ch. N. Satterfield, R. L. Wentworth, Hydrogen Peroxide, N. Y., 1955.
⁵ M. Dole, D. P. Rudd, G. R. Murchow, C. Comte, J. Chem. Phys., 20, № 6, 961 (1952).
⁶ В. М. Кутюрин, Применение метода меченых атомов к изучению механизма окислительно-восстановительного превращения хлорофилла в процессе фотосинтеза, Диссертация, М., 1956.
⁷ G. A. Lane, M. Dole, Science, 123, 575 (1956).
⁸ M. Dole, G. A. Lane, D. P. Rudd, D. A. Zaukelies, Geochim. et cosmochim. acta, 6, № 2/3, 65 (1954).

Ф. Л. КАЛИНИН

**ПЕРИОДИЧНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО
РЕЖИМА ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ЗАРОДЫША РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 29 X 1958)

Приступая к анализу физиолого-биохимических особенностей эмбрионального формирования растений (озимая пшеница Лютесценс 17, яровая пшеница Арнаутка Немерчанская, редька), мы обратили внимание прежде всего на характеристику окислительно-восстановительного режима формирующегося зародыша и эндосперма. При этом мы исходили из приспособленности живой клетки к использованию энергии небольшими порциями для осуществления процессов синтеза, структурообразования и жизнедеятельности. Известно также, что в основе высвобождения энергии небольшими порциями лежат ступенчатые окислительно-восстановительные процессы, отражающие физико-биохимическое состояние тканей, органов и организма в целом. Наше внимание было сосредоточено на изучении энергии дыхания, активности окислительных ферментов, величины окислительно-восстановительного потенциала, рН среды и некоторых окислительно-восстановительных систем.

Характер изменения каждого показателя окислительно-восстановительного режима в формирующемся зародыше и эндосперме озимой пшеницы Лютесценс 17 представлен графически на рис. 1.

Полученные результаты показывают (рис. 1, 1, 11), что энергия дыхания зародыша и эндосперма неуклонно падает по мере формирования зародыша. В некоторые периоды времени падение носит скачкообразный характер. Например, 1 г зародыша за 1 час поглощает кислорода (при пересчете на сухое вещество): с 11 до 17—20 дня созревания зерновки в пределах 2000 μ л, с 20 дня до конца созревания 200 μ л. Эта закономерность была нами учтена при разработке методики выращивания зародыша в контролируемых условиях. Как видно из рис. 1, в процессе формирования частей семени пшеницы в изменении активности каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы наблюдается резкое различие. В тканях зародыша и эндосперма изменение активности пероксидазы и полифенолоксидазы имеет противоположное направление. В первый период формирования пероксидазная активность (рис. 1, 2, 12) резко возрастает и находится на высоком уровне, активность полифенолоксидазы почти не проявляется. На более поздних этапах картина меняется и окислительные реакции осуществляются в основном под влиянием полифенолоксидазы (рис. 1, 3, 14). Аналогичная зависимость наблюдается в действии пероксидазы и каталазы, но только в эндосперме, где высокая активность каталазы (рис. 1, 4, 14) сопровождается низкой активностью пероксидазы и наоборот. Иное соотношение наблюдается в зародышевой части зерновки, особенно на ранних этапах формирования. Здесь пероксидазная и каталазная активности идут параллельно. Можно предполагать, что в ранний период развития зародыша пероксидаза распространяет свое действие на кислород органических перекисей. В таком случае каталазная активность проявляется более полно.

Большой интерес представляет изменение активности цитохромной системы окисления при дыхании, являющейся характерной для организмов с гетеротрофным способом питания, который как раз и свойствен растению в зародышевый период. Свообразием отличается активность цитохромокси-

дазы (рис. 1, 5, 15) в зародыше и эндосперме по мере их формирования. В эндосперме ее активность проявляется только на этапе преимущественного формирования эндосперма. На этом этапе в зародыше также отмечается высокая активность цитохромоксидазы, резко падающая на этапе преимущественного развития зародыша и не проявляющаяся на последнем

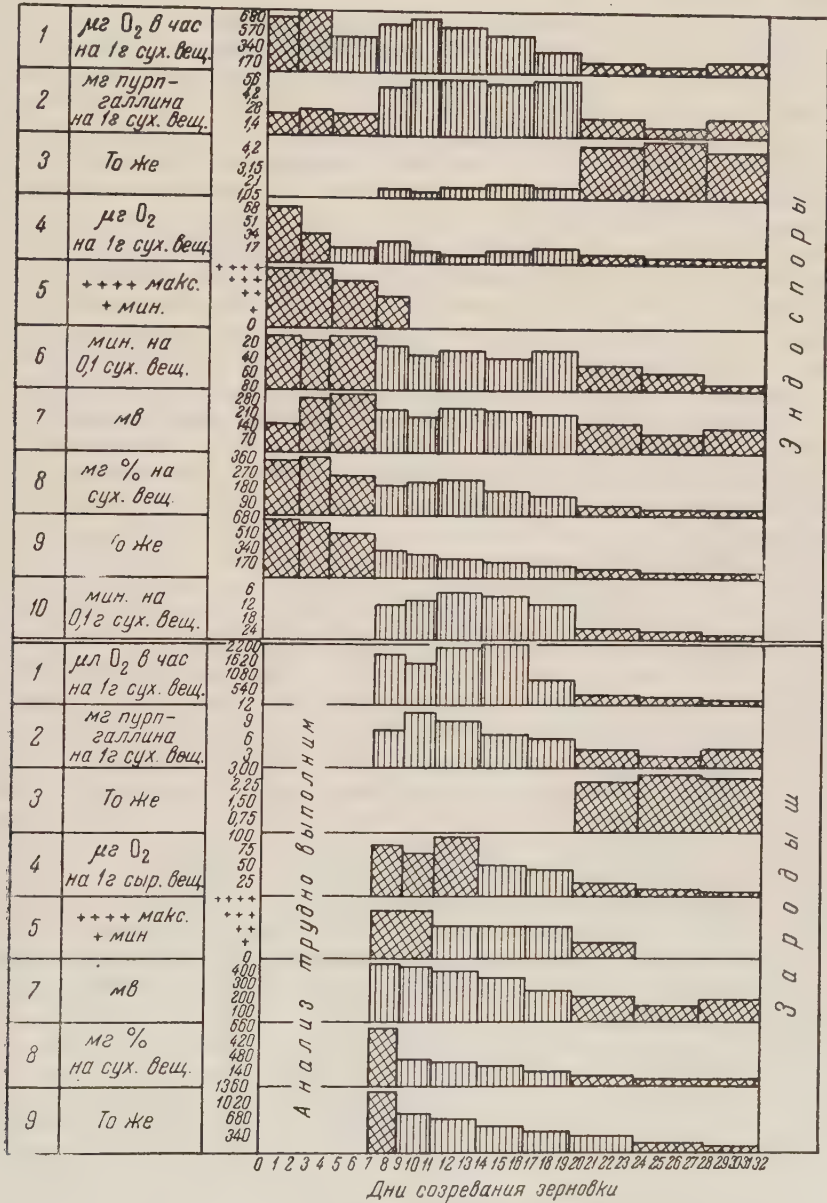


Рис. 1. 1 — дыхание, 2 — пероксидаза, 3 — полифенолоксидаза, 4 — ката- лаза, 5 — цитохромоксидаза, 6 — дегидразы, 7 — о.-в. потенциал, 8 — асмор- биновая кислота, 9 — глутатион, 10 — дегидразы

этапе — отложения запасных веществ. Как видно, на каждом морфофизиоло- гическом этапе эмбриогенеза активность цитохромоксидазы проявляется весьма различно.

Таким образом, на определенном этапе формирования зародыша и эндо- сперма повышение активности одних ферментов сопровождается, как правило, падением или полным исчезновением активности других. В первый период

формирования зародыша озимой и яровой пшеницы окислительные процессы осуществляются в основном за счет действия пероксидазы и цитохромоксидазы. При этом отмечается высокая активность каталазы. В более поздний период развития зародыша названные ферменты уступают место полифенолоксидазной системе, активность которой в это время резко возрастает. В эндоспермальной ткани взаимосвязь в действии ферментов представлена несколько иначе.

Скачкообразные переходы в активности отдельных ферментов в разные этапы эмбриогенеза, смена одной качественно отличной ферментной системы другой служат убедительным критерием наличия трех выделенных нами морфо-физиологических этапов развития зародыша растения и говорит о том, что дыхательные процессы на определенных этапах эмбриогенеза качественно различны и окислительно-восстановительные реакции катализируются при этом не одной, а несколькими ферментными системами.

Смена одной ферментной системы другой представляет важную биологическую закономерность, которая в ряде исследований отмечена также и в постэмбриональный период развития растения. Установлено, что по мере старения листьев яблони падение пероксидазной активности сопровождается повышением полифенолоксидазной (⁶); в процессе яровизации в зародыше и эндосперме пшеницы одни окислительные ферменты сменяются другими (¹⁰); по мере развития ячменя цитохромная окислительная система уступает место флавопротеиновым ферментам (⁴⁻⁶); в начальный период созревания плодов цитрусовых растений окислительные реакции катализируются металлосодержащими оксидазами, а в конце — флавопротеиновыми ферментами (⁸).

В настоящем исследовании находит фактическое подтверждение мысль А. Н. Баха (¹) о том, что дыхательный фермент должен быть не смесью, а комплексом окислительных ферментов клетки, которые приспособились и координировались друг с другом в процессе эволюции.

Суммарная активность дегидраз яблочной, лимонной, янтарной и глютаминовой кислот в процессе эмбриогенеза постепенно падает (рис. 1, 6, 10). При этом на 17—20 день созревания зерновки отмечается скачкообразное падение активности этих ферментов, что по времени совпадает с началом этапа отложения запасных веществ. Необходимо отметить, что в суммарной дегидразной активности наблюдаются менее резкие переходы и изменения по сравнению с ферментами-оксидазами.

Окислительно-восстановительные процессы в живой клетке никогда не приходят в равновесие и сопряжены химически и энергетически. В процессе эмбриогенеза величина окислительно-восстановительного потенциала на фоне постепенного падения резко уменьшается на 7 и 20 день созревания зерновки (рис. 1, 7 и 16), т. е. когда зародыш вступает во второй и третий этапы своего развития.

На первых двух этапах эмбриогенеза величина окислительно-восстановительного потенциала заметно выше в зародыше, чем в эндосперме.

Важное место в течении окислительно-восстановительных процессов занимают аскорбиновая кислота и соединения с сульфгидрильными группами. Содержание этих веществ закономерно уменьшается (рис. 1, 8, 9, 17, 18) в зародыше и эндосперме по мере их формирования. При этом выделяется примерно три уровня концентрации этих соединений, соответствующих трем этапам эмбриогенеза. Высокое содержание аскорбиновой кислоты и сульфгидрильных групп сопровождает ранние этапы эмбриогенеза, в чем, по-видимому, проявляется важность роли, выполняемой этими веществами в период, когда идут основные процессы формирования зародыша. Содержание аскорбиновой кислоты и сульфгидрильных групп значительно выше в зародыше, чем в эндосперме. Однако это относится только к ранним этапам эмбрионального формирования. Нельзя не обратить внимания на некоторые общие моменты в характере изменения окислительно-восстановитель-

ного режима в эмбриогенезе. Интенсивность окислительно-восстановительных процессов, как правило, находится на более высоком уровне в зародыше, чем в эндосперме, и по мере формирования обеих этих частей закономерно затухает. При этом разность уровней окислительно-восстановительных реакций между зародышем и эндоспермом по мере формирования уменьшается, исчезает, а иногда принимает отрицательное значение. Необходимо отметить, что изменения в ходе прослеженных нами показателей окислительно-восстановительного режима носят в эндосперме более плавный, а в зародыше — резкий, скачкообразный характер. Это отражает, по-видимому, более резкие изменения в обмене веществ, а также в формо- и структурообразовании, имеющем место в зародыше. Можно предполагать, что более высокий уровень окислительно-восстановительных процессов в зародыше объясняется тем, что молодая эмбриональная ткань с большей силой адсорбирует и отнимает от эндоспермальной ткани отдельные необходимые компоненты, соединения, определяющие и обуславливающие ход и уровень окислительных и восстановительных реакций (7).

Изменение активности ферментов можно объяснить, если исходить из адсорбционной способности протоплазмных структур. Установлено, что адсорбционная способность носит избирательный характер и слабеет по мере старения ткани (3). Исходя из этого можно понять высокую активность всех прослеженных нами ферментов в зародыше, по сравнению с эндоспермом, а также падение их активности в обеих частях семени по мере его созревания.

До последнего времени считали, что при прорастании зародыш образует определенное количество ферментов, которые проникают в эндосперм, где они активируют соответствующие реакции (7). Такой взгляд оказался ошибочным. В действительности же ферменты, как видно, не образуются в зародыше, а находятся и откладываются в эндосперме еще при созревании семени, т. е. эндосперм зерна является не только источником питательных веществ для зародыша, но и источником необходимых ему ферментов.

Аналогичные закономерности в изменении окислительно-восстановительного режима наблюдаются в частях формирующегося семени яровой пшеницы и редьки. Таким образом, особенности окислительно-восстановительного режима формирующегося зародыша и эндосперма говорят о наличии трех этапов, через которые растение проходит в период эмбрионального развития: этапа преимущественного формирования эндосперма, этапа преимущественного развития зародыша и этапа отложения запасных веществ.

При этом каждый этап формирования тканей зародыша и эндосперма протекает только при соответствующем окислительно-восстановительном режиме. Изменение окислительно-восстановительного режима, отмеченное в процессе формирования зерновки пшеницы для зародыша, эндосперма и околозародышевой жидкости редьки (дыхание, pH среды, содержание аскорбиновой кислоты, глутатиона, цистеина и др.), может быть положено в основу изыскания оптимальных условий при воспроизведении эмбриогенеза в контролируемых условиях.

Научно-исследовательский институт
физиологии растений Украинской
Академии сельскохозяйственных наук

Поступило
29 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Бах, Избр. тр., М., 1937. ² Ч. Дарвин, Изменение животных и растений в домашнем состоянии, М., 1941, стр. 478. ³ А. Л. Курсанов, Биохимия, 11, 333 (1946). ⁴ Д. М. Михлин, Пероксиды и пероксидазы. Химизм медленного окисления. Изд. АН СССР, 1948. ⁵ Д. М. Михлин, П. А. Колесников, Биохимия, 12, 5 (1947). ⁶ Н. Н. Крюкова, Биохимия, 14, 6 (1949). ⁷ А. И. Опариш, Сб. Общ. собрание АН СССР, посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 1948, 647. ⁸ Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, Т. М. Иванова, Сб. Биохимия овощей, 1, Изд. АН СССР, 1949. ⁹ Н. М. Сисакян, Б. А. Рубин, Биохимия, 9, 6 (1944). ¹⁰ Н. М. Сисакян, И. И. Филиппович, Журн. общ. биол., № 3 (1953).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. Ф. КЛЕШНИН и И. А. ШУЛЬГИН

ОБ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 10 I 1959)

Большая часть лучистой энергии, падающей на листья растений, поглощается ими. За счет этой энергии происходят все физиологические процессы: фотосинтез, синтез пигментов и связанные с ними ростовые и формообразовательные процессы.

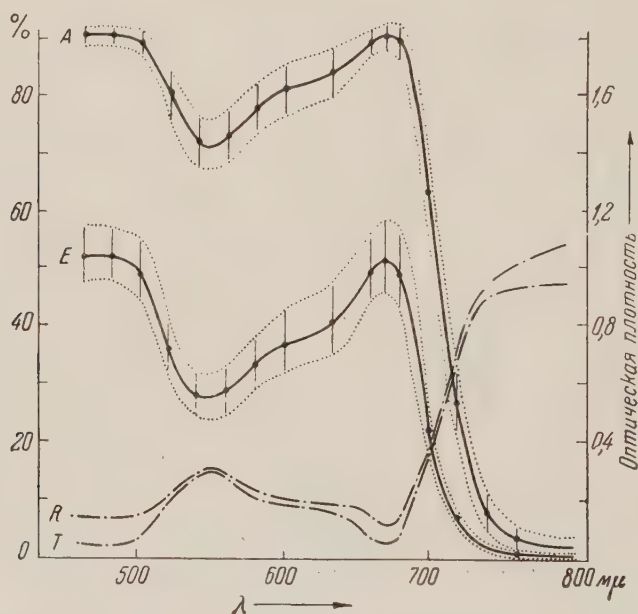


Рис. 1. Оптические свойства листьев растений. А — поглощение лучистой энергии, R — отражение, T — пропускание, E — оптическая плотность. Пунктиром показан средний разброс

Начало исследованиям по оптическим свойствам листьев положил еще Сакс ⁽¹⁾. На протяжении столетия появилось значительное число работ, среди которых нужно отметить обстоятельные исследования Зейбольда ⁽²⁻⁴⁾. Однако число работ, отвечающих современному методическому уровню исследований с учетом того, что лист представляет оптически неоднородную систему, крайне мало ⁽⁵⁻⁹⁾, причем исследовано сравнительно небольшое число видов — всего около 20.

Возникает поэтому необходимость в систематическом исследовании оптических свойств листьев для установления закономерности в распределении поглощения лучистой энергии в физиологической области спектра для большинства видов растений в естественных условиях.

С этой целью нами было предпринято исследование оптических свойств листьев растений Средней полосы Европейской части СССР (всего около 80 видов).

Методика работы опубликована ранее ⁽¹⁰⁾. В качестве объектов были взяты полевые культуры (*Helianthus annuus* L., *Solanum tuberosum* L. и др. — 6 видов), овощные культуры (*Solanum lycopersicum* L., *Pisum sativum* L., *Cucumis sativus* L., *Cohlearia armoracia* L. и др. — 10 видов), овощные зеленные с большим содержанием воды в листьях (*Allium cepa* L., *Lactuca sativa* L., *Rumex domesticus* L. и др. — 5 видов), декоративные (*Perilla nankinensis* L., *Phlox paniculata* L., *Peonia officinalis* L., *Cineraria maritima* L. и др. — 10 видов), дикорастущие травянистые (*Rubus saxalitis* L., *Viola tricolor* L., *Fragaria vesca* L. и др. — 10 ви-

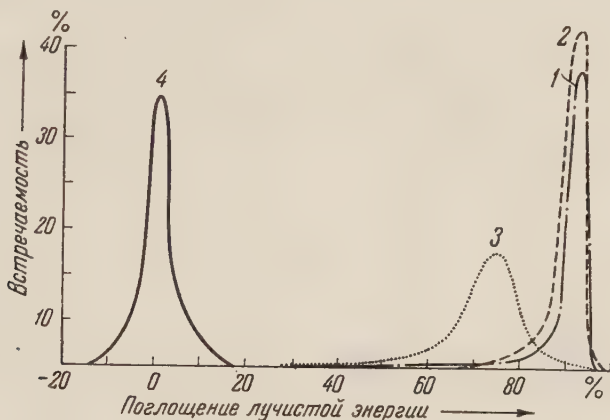


Рис. 2. Распределение поглощения лучистой энергии листьями растений. 1 — в области 670 мμ; 2 — 460—480 мμ; 3 — 540—560 мμ; 4 — 800 мμ

дов), древесные (*Populus alba* L., *Betula verrucosa* L., *Tilia vulgaris* Hayne, *Corylus avellana* L., *Quercus robur* L. и др. — 15 видов), водные — гигрофиты и гидрофиты (*Caltha palustris* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Thypha latifolia* L., *Potamogeton praelongus* Wulf. и др. — 15 видов), различающиеся по содержанию воды и хлорофилла в листьях и обитающие в различных условиях — на открытых солнечных местах и под пологом леса, на суше и в воде.

В результате массовых определений отражения, пропускания и поглощения лучистой энергии в различных областях спектра было установлено, что у подавляющего числа видов растений, несмотря на их различную систематическую и экологическую принадлежность и различные условия произрастания, спектральные кривые для листьев оказались весьма близкими. Это обстоятельство позволило нам построить средние кривые, приведенные на рис. 1. Как видно из рисунка, пропускание лучистой энергии в физиологической области спектра минимально в синих (460—480 мμ) и красных (660—680 мμ) лучах, составляя 2,5—3,0%, и максимально в зеленых (540—560 мμ) лучах, составляя 14,5%.

Кривая отражения имеет такой же характер, но отличается несколько большими абсолютными значениями в синей и красной областях спектра, где отражение равно соответственно 7 и 6%. В области максимума отражения практически равно пропусканию, составляя 15%. Поскольку большинство исследуемых видов растений относится к экологической группе мезофитов и имеет мезофильную структуру листовых пластинок, можно принять, что для мезофитов характерно одинаковое отражение и пропускание в зеленых лучах спектра.

Поглощение лучистой энергии (для 80 видов), как видно на рис. 1, максимально в синих и красных лучах (91%) и минимально в желто-зеленых лучах (71%). Кривая поглощения резко падает в сторону инфракрасных лучей. Кривая имеет плавный характер, без резко выраженных отдельных максимумов поглощения, свойственных экстракту пигментов тех же листьев. Средний разброс поглощения минимален в областях максимумов ($\pm 2,0$ — $2,5\%$) и максимален в зеленых лучах, наименее поглощаемых листом ($\pm 5,0\%$).

Поглощение лучистой энергии может быть также представлено в виде кривой оптической плотности, характеризующей поверхностную концентрацию пигментов. В области максимумов поглощения оптическая плотность колеблется в пределах 0,95—1,15, а в области минимума составляет 0,45—0,65.

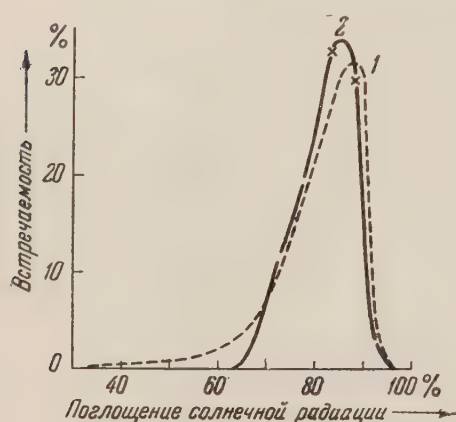


Рис. 3. Распределение поглощения солнечной радиации листьями растений в полуденные часы (физиологическая радиация, 400—720 м μ). 1 — для всех видов (80), 2 — для части видов (67) — без водных погруженных растений и растений, окрашенных антоцианами

О величинах реального разброса в поглощении лучистой энергии можно судить по распределению поглощения в области максимумов и минимума, которое представлено на рис. 2. Кривая 1 характеризует распределение поглощения в области «красного» максимума. Большинство исследуемых видов (80%) поглощает 90—95%, у остальных видов поглощение распределяется в пределах 60—90%. Аналогичный характер распределения наблюдается для «синего» максимума. Подавляющее большинство видов (95%) поглощает 88—95%, и лишь у 5% поглощение колеблется в пределах 70—88%.

Несмотря на различия в содержании хлорофилла, поглощение в указанных областях спектра варьирует очень незначительно, что указывает на избыток пигментов в листе.

В зеленых лучах, наименее поглощаемых пигментами нормального листа, колебания в поглощении больше: практически от 40% в группе водных (*Potamogeton praelongus* Wulf) и овощных зеленных растений (*Lactuca sativa* L.) до 92% у ксерофитизированных видов и растений с антоцианами (*Canna indica* L.). Большинство видов поглощает в этой области 75% (рис. 2, 3).

Поглощение солнечной радиации в физиологической области спектра представлено на рис. 3; оно получено путем перемножения величин на спектральных кривых поглощения лучистой энергии и величин на кривой распределения энергии в солнечном спектре в полуденные часы в средних широтах ⁽¹¹⁾.

Отношение площадей, лежащих между полученными кривыми и кривой солнечного спектра, дает поглощение солнечной радиации в области 400—720 м μ . У большинства исследуемых растений поглощение составляет 75—90%; у водных и овощных зеленных оно колеблется в пределах 45—75% (рис. 3, 1). Кривая 2 характеризует поглощение солнечной радиации типичными растениями с зелеными листьями. Кривая более симметрична и лежит в меньшем диапазоне поглощения. В ближней инфракрасной области спектра поглощение составляет в среднем 8%.

Таким образом, на основании приведенных данных можно сделать заключение, что в процессе эволюции растений выработалась оптическая система лист — пластиды — пигменты, приспособленная к оптимальному погло-

щению лучистой энергии, заключенному в довольно узкие пределы, независимо от видовых особенностей растений.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
9 I 1959

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. Sachs, Sitzungsber. Kais. Akad. Wiss. Wien, **43**, Abt. 2, 265 (1860). ² A. Seybold, Planta, **16**, 195 (1932). ³ A. Seybold, Planta, **18**, 479 (1932). ⁴ A. Seybold, Planta, **20**, 577 (1933). ⁵ A. Seybold, A. Weissweiler, Bot. Arch., Leipzig, **43**, H 3, 252 (1942). ⁶ A. Seybold, A. Weissweiler, Bot. Arch., Leipzig, **44**, H. 1, 102 (1942). ⁷ G. S. Rabideau, C. S. French, A. S. Holt, Am. J. Bot., **33**, № 10, 769 (1946). ⁸ R. A. Moss, W. E. Loomis, Plant Physiol., **27**, № 2, 370 (1952). ⁹ А. А. Ильина, ЖФХ, **21**, в. 2, 145 (1947). ¹⁰ И. А. Шулгин, А. Ф. Клешнин, М. И. Верболова, Физиол. раст., **5**, № 5, 473 (1958). ¹¹ А. Ф. Клешнин, Растение и свет, Изд. АН СССР, 1954.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Л. И. СЕРГЕЕВ, К. А. СЕРГЕЕВА и В. К. МЕЛЬНИКОВ

**ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТОЧКА ПРОТОПЛАЗМЫ И ОСОБЕННОСТИ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ ПОЧЕК
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 24 IX 1958)

Исследования показали, что по мере старения животных тканей изоэлектрическая точка (ИЭТ) протоплазмы их клеток сдвигается в менее кислую сторону ⁽⁶⁾. Хагедорн ⁽¹⁵⁾ считает, что у растений нет прямолинейной зависимости положения ИЭТ от возрастного состояния, так как вследствие морфо-физиологической периодичности развития растений изменение ИЭТ протоплазмы их клеток имеет более сложный характер. Однако, в конечном счете, и у растений в процессе старения ИЭТ смещается в менее кислую сторону.

Неблагоприятные воздействия среды также смещают ИЭТ в менее кислую сторону. Р. Г. Трудовой ⁽¹²⁾ установлено, что облучение кончиков корешков проростков овса повреждающими дозами рентгеновских лучей (500, 13 000 г) вызывает значительное смещение ИЭТ клеточных коллоидов в сторону нейтральной реакции. Г. И. Роскин ⁽⁶⁾ показал смещение ИЭТ протоплазмы трипанозом в менее кислую сторону под влиянием новосальварсана, трипофлавина и др.

ИЭТ в клетках генеративных почек древесных растений определяли Ю. Л. Цельникер ⁽¹³⁾, Е. К. Плакида и Н. О. Лагутинская ⁽⁵⁾. Ю. Л. Цельникер установила, что еще до появления морфологических различий у генеративных почек яблони ИЭТ сдвинута в более кислую сторону, чем у вегетативных. Е. К. Плакида и Н. О. Лагутинская получили на винограде противоположное соотношение между генеративными и вегетативными почками по ИЭТ.

Необходимо отметить также зависимость между наличием рибонуклеиновой кислоты (РНК) и положением ИЭТ. В исследованиях В. Г. Конарева ⁽⁴⁾ с проростками картофеля и гороха, Хагедорна с актиномицетами РНК удалялась при помощи фермента рибонуклеазы. Определения ИЭТ до и после удаления РНК показало смещение ИЭТ в менее кислую сторону. В работе Т. М. Яковлевой ⁽¹⁴⁾ установлено, что при регенерации у тритона и аксолотля ИЭТ клеток сдвигается в кислую сторону также за счет увеличения количества РНК в протоплазме.

В исследовании периодичности годовичного цикла развития древесных растений в связи с их выносливостью и продуктивностью мы применяем комплексный морфо-физиологический метод ^(8,9). Большое внимание в этом методе уделяется динамике ИЭТ протоплазмы клеток генеративных почек. Эти исследования проводятся нами в течение 3 лет с 3—6-кратной повторностью.

Определение ИЭТ проводилось в основном по методике В. Г. Конарева ^(3,4) путем раздельного окрашивания кислым и основным фуксином в концентрации 0,05% с последующей отмывкой в течение 3 час. в буферных растворах Мак-Ильвейна с градацией рН 0,2. Перед этим продольные срезы генеративных почек толщиной 50 μ , сделанные на микротоме, фиксируются 96% спиртом в течение 10 мин.

Следует отметить, что допускаемое в некоторых работах (¹⁰) упрощение метода изучения ИЭТ по Пишингеру (¹⁶) неизбежно приводит к снижению точности определений.

Из результатов определения ИЭТ в протоплазме клеток генеративных почек различных пород мы приводим здесь данные по генеративным почкам яблони Башкирский красавец и вишни Захаровской (см. табл. 1).

Таблица 1

Изменение рН протоплазмы клеток генеративных почек древесных растений

Название породы и сорта	Месяцы									
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Яблоня Башкир- ский красавец	3,3	3,1	3,8	3,8	3,4	3,6	2,8	2,7	2,7	2,7
Вишня Захаров- ская	3,4	3,2	3,7	3,2	3,7	3,6	2,8	2,8	2,7	2,6

Из данных табл. 1 следует, что в процессе прохождения периода «глубокого покоя» ИЭТ протоплазмы генеративных почек смещается в менее кислую сторону. К моменту завершения этого периода наблюдается переход ИЭТ в более кислую сторону в условиях дальнейшего понижения температуры воздуха. Такое смещение происходит раньше у вишни Захаровской (с рН 3,7 в октябре до рН 3,2 в ноябре) и позже у яблони Башкирский кра-

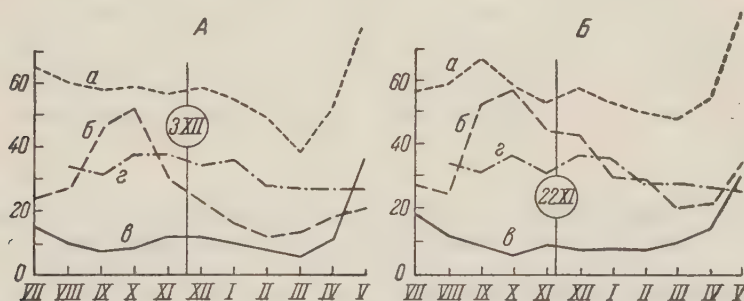


Рис. 1. Динамика ИЭТ протоплазмы генеративных почек и некоторых физиологических показателей у яблони Башкирский красавец 3 XII (А) и вишни Захаровской 22 XI (Б). а — содержание воды (в процентах) в генеративных почках, б — водоудерживающая способность (содержание воды после 28 час. подсушивания в процентах), в — интенсивность дыхания генеративных почек, г — ИЭТ

савец (с рН 3,8 в ноябре до рН 3,4 в декабре), что соответствует продолжительности периода «глубокого покоя» генеративных почек указанных растений (ср. рис. 1). Это объясняется тем, что при прохождении периода «глубокого покоя» протекают процессы, повышающие потенциал физиологической активности. С помощью этих процессов генеративные почки выходят из состояния «глубокого покоя».

В начале периода вынужденного покоя вновь происходит смещение ИЭТ в менее кислую сторону, а затем, к весне и весной (в феврале, марте, апреле, мае), вначале резко, а затем плавно ИЭТ смещается в более кислую сторону.

Кривые динамики ИЭТ находятся в определенном соотношении с другими физиологическими показателями генеративных почек (см. рис. 1). Так, повышение интенсивности дыхания генеративных почек к концу периода «глубокого покоя» совпадает со смещением ИЭТ в более кислую сторону. Повы-

шение водоудерживающей способности в период «глубокого покоя», указывающее на снижение интенсивности обмена, и затем резкое падение ее в конце периода «глубокого покоя», характеризующее усиление интенсивности обмена, также хорошо согласуются с изменением положения ИЭТ.

Изменение положения ИЭТ в зависимости от интенсивности обмена в растении подтверждается также результатами опыта с применением радиоактивного фосфора. В 3 — 4-летние деревца яблони и вишни вводился слабый раствор двузамещенного фосфата натрия, меченного P^{32} . Введение раствора в стволы проводилось по одному из методов, описанных в работе (17). Через 7—10 дней после инъекции раствора с P^{32} , а затем еще через 10 дней были взяты пробы почек и в них на счетной установке Б-2 проводилось определение радиоактивности. Метод подготовки препаратов не отличался от способов, применявшихся другими исследователями (1, 2, 11). Соответствующие скорости счета препаратов мы пересчитали на весовые количества меченого фосфора. Эффективность счетной установки определялась при помощи стандартных препаратов урана и фосфора. Полученные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Поступление фосфора в генеративные почки плодовых растений (в микрограммах P_2O_5 на 1 г воздушно-сухого вещества с поправкой на радиоактивный распад)

Название породы и сорта	Фосфор инъецирован 14 сентября 1957 г.						Фосфор инъецирован 22 октября 1957 г.					
	21 IX			2 X			2 XI			12 XI		
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в
Яблоня	0,18	—	2,2	0,3	—	2,5	0	0	0	0,2	0,4	0,4
Вишня	2,2	—	4,4	4,3	—	3,3	0	0	0	0,08	0,2	0,3

Примечание. а — из верхней части кроны, б — из средней части, в — из нижней части.

Как видно из данных табл. 2, поступление радиоактивного фосфора в генеративные почки яблони и вишни связано с изменениями ИЭТ. В конце сентября, когда ИЭТ почек еще оставалась смещенной в более кислую сторону, происходило интенсивное поступление меченого фосфора в почки уже через 7 дней после инъекции его в растения, а через 17 дней это количество возросло еще больше. В конце же октября, через 10 дней после инъекции, фосфор совершенно не поступил в почки и лишь через 20 дней были обнаружены небольшие количества его.

Таким образом, из сопоставления положения ИЭТ протоплазмы генеративных почек древесных растений с другими физиологическими показателями следует, что смещение ИЭТ в более кислую сторону связано с повышением интенсивности обмена, а смещение ИЭТ по направлению к нейтральному положению коррелирует с пониженной интенсивностью обмена.

Мы объясняем эту связь изменением отрицательного электрокинетического потенциала, который зависит от ИЭТ. На зависимость между ИЭТ и электрокинетическим потенциалом указывал Д. Л. Рубинштейн (7). Известно, что живая клетка всегда имеет в периферической части протопласта отрицательный электрокинетический потенциал. Нельзя указать ни одного достоверного случая, когда живая клетка растения или животного имела бы положительный электрокинетический потенциал. В связи с этим нет данных и о том, чтобы ИЭТ протоплазмы клеток находилась в области, близкой к рН 7, или, тем более, помещалась бы в щелочной части значений рН. Известно также, что повышенная физиологическая активность клеток характеризуется одновременным смещением ИЭТ их протоплазмы в более

кислую сторону. Из этого можно сделать предположение об органической связи отрицательного электрокинетического потенциала со структурой живой протоплазмы и происходящим в ней обменом веществ.

Институт биологии
Академии наук СССР Башкирского филиала

Поступило
24 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Ахромейко, П. В. Воропанов, Лесн. хоз., № 4 (1955). ² Ю. А. Белавин, ДАН, 108, № 5 (1956). ³ В. Г. Конарев, ДАН, 59, № 4 (1948). ⁴ В. Г. Конарев, ДАН, 118, № 2 (1958). ⁵ Е. К. Плакида, Н. О. Лагутинская, Бот. журн., Киев, 9, № 1 (1952). ⁶ Г. И. Роскин, Усп. совр. биол., 22, в. 2 (1946). ⁷ Д. Л. Рубинштейн, Усп. совр. биол., 4, в. 2 (1935). ⁸ Л. И. Сергеев, Выносливость растений, М., 1953. ⁹ Л. И. Сергеев, К. А. Сергеева, Тез. докл. делегатск. съезда Всесоюзн. бот. общ., в. 2, Л., 1957. ¹⁰ К. С. Спекторов, Физиол. раст., 4, в. 2 (1957). ¹¹ А. Д. Тарабрин, ДАН, 108, № 5 (1956). ¹² Р. Г. Трудова, ДАН, 72, № 1 (1950). ¹³ Ю. Л. Цельникер, ДАН, 66, № 2 (1949). ¹⁴ Т. М. Яковлева, ДАН, 83, № 3 (1952). ¹⁵ H. Hagedorn, Protoplasma, 45, 1 (1955). ¹⁶ A. Pischinger, Zs. Zellforsch., 3, 169 (1926). ¹⁷ W. A. Roach, Ann. Bot., 8, № 9 (1939).

Академик АН УССР Е. Б. БАБСКИЙ и В. Л. КАРПМАН

ОБ АНАЛИЗЕ ФАЗ СЕРДЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ ПО ДАННЫМ ДИНАМОКАРДИОГРАФИИ

Физиологический анализ динамокардиограммы был произведен Е. Б. Бабским, Т. С. Виноградовой, В. С. Гурфинкелем и Е. Н. Мещалкиным ⁽¹⁾. Авторы пришли к выводу, что интервалы динамокардиограммы соответствуют фазам сердечного цикла.

В последующих работах по динамокардиографии ^(2,3) были в основном подтверждены эти выводы. Вместе с тем, накопились данные, указывающие на то, что некоторые элементы динамокардиограммы следует оценивать иначе, чем это сделано в работе ⁽¹⁾. В связи с этим мы заново проанализировали систолический комплекс динамокардиограммы и установили более точные критерии для оценки длительности фаз систолы желудочков.

Материал и методика. Были обследованы 85 человек, из которых 25 здоровых и 60 больных (у 35 человек был митральный стеноз, у 5 — митральная недостаточность, у 15 — митральный стеноз с мерцательной аритмией и у 5 человек был митрально-аортальный порок). Синхронно записывались динамокардиограмма, электрокардиограмма, фонокардиограмма и кривая каротидного пульса.

При анализе кривых сопоставлялись характерные точки динамокардиограммы с характерными точками электрокардиограммы, фонокардиограммы и сфигмограммы. Помимо этого производился временной анализ фаз сердечного цикла и интервалов динамокардиограммы. Длительность электро-механического периода подсчитывалась по времени между началом зубца Q электрокардиограммы и началом высокочастотных колебаний I тона. Длительность фазы изометрического сокращения определялась по временному промежутку между началом высокочастотных колебаний I тона и началом анакроты на кривой каротидного пульса с поправкой на время распространения пульсовой волны от сердца до сонной артерии. Время изгнания устанавливалось по пульсовой кривой.

На динамокардиограмме подсчитывалась длительность интервалов II ($B - C$) и $III + IV$ ($C - E$), а также длительность вновь выделяемых нами интервалов $q - B$, $B - z$ и $z - E$ (рис. 1). Сопоставлялась длительность электро-механического периода с длительностью интервала $q - B$, длительность фазы изометрического сокращения с длительностью интервалов II и $B - z$, длительность фазы изгнания с длительностью интервалов $III + IV$ и $z - E$.

Результаты исследования. Сопоставление динамокардиограммы с электрокардиограммой показало, что началу электрической систолы желудочков (зубцу Q электрокардиограммы) в большинстве случаев соответствует излом на механической кривой. Часто этот излом приобретает вид самостоятельного зубца, который мы обозначаем буквой q . Описываемый факт отмечен нами в 63 наблюдениях, на остальных 22 кривых точка q достоверно не выявлялась. Точка B динамокардиограммы всегда проецируется или на нижнюю треть интервала $R - S$, или на сам зубец S , электрокардиограммы.

Начало высокочастотных колебаний I тона у большинства обследованных совпадало с точкой *B* динамокардиограммы. У 19 обследованных точка *B* несколько предшествовала (максимум на 0,02 сек.) фонокардиограмме. Начало II тона совпадало с точкой *F* динамокардиограммы у 68 человек. У 17 обследованных II тон возникал несколько раньше.

Точка *C* динамокардиограммы и начало анакроты каротидного пульса находились в очень неопределенных взаимоотношениях. Если у здоровых людей эти точки совпадали во времени или же пульсовая кривая несколько опережала динамокардиограмму, то у больных опережение было постоянным и выраженным чрезвычайно резко, достигая у некоторых из них 0,10 сек. Инцизура каротидного пульса всегда проецировалась на отрезок *F — G* динамокардиограммы.

Типичные взаимоотношения динамокардиограммы с электрокардиограммой, фонокардиограммой и кривой каротидного пульса показаны на рис. 1.

При анализе длительности интервалов систолического комплекса динамокардиограммы и фаз систолы желудочков все наши наблюдения были разбиты на пять групп. В первой группе были здоровые люди, в остальных четырех группах были больные с различными видами поражения клапанного аппарата левого сердца. При такого рода распределении наших наблюдений мы исходили из известных фактов⁽⁵⁻⁷⁾ об особенностях фаз сердечного сокращения в норме и при различных видах патологии.

Данные о длительности интервалов динамокардиограммы и длительности фаз систолы у наших обследованных приведены в табл. 1 и 2.

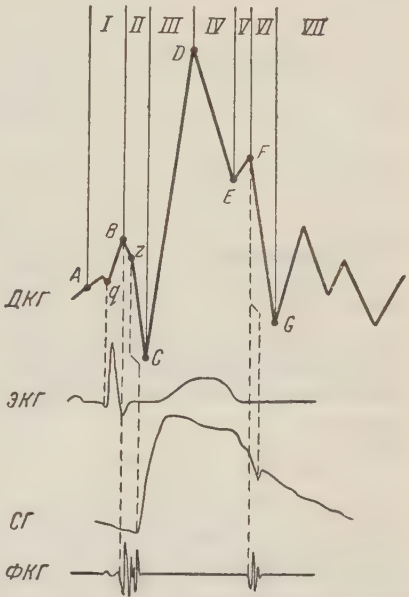


Рис. 1. Соотношения во времени динамокардиограммы (ДКГ), электрокардиограммы (ЭКГ), сфигмограммы сонной артерии (СГ) и фонокардиограммы (ФКГ). Объяснение в тексте

Таблица 1

Средняя длительность интервалов систолического комплекса динамокардиограммы (в секундах)

Категория обследованных	Интервалы динамокардиограммы				
	<i>q — B</i>	<i>B — z</i>	<i>II(B — C)</i>	<i>z — E</i>	<i>III + IV (C — E)</i>
Здоровые	0,052	0,029	0,071	0,287	0,235
Больные:					
Митральный стеноз	0,072	0,029	0,108	0,263	0,184
Митральная недостаточность	0,065	0,030	0,096	0,289	0,223
Митральный стеноз + мерцательная аритмия	0,082	0,038	0,112	0,253	0,179
Митрально-аортальный порок	0,058	0,027	0,098	0,298	0,227

Вновь выделяемые нами интервалы динамокардиограммы (*q — B*, *B — z* и *z — E*), данные о длительности которых приводятся в табл. 1, стали ясны, когда мы убедились в физиологической значимости точек *q* и *z*. О точке *q* уже говорилось выше. Точка *z* соответствует зазубрине, или излому, на отрезке *B — C* динамокардиограммы здоровых людей и расщеплению этого отрезка в условиях патологии (рис. 1).

Средняя длительность фаз систолы желудочка по данным поликардиографического исследования (в секундах)

Категория обследованных	Фазы систолы желудочка			Авторы
	электро-механич. период сердца	фаза изометрич. сокращ.	фаза изгнания крови	
Здоровые	0,053 0,051 0,050	0,030 0,037 0,032	0,284 0,290 0,289	Собственные данные Гольдак (?) Нацци с сотр. (*)
Больные:				
Митральный стеноз	0,074 0,080	0,029 0,023	0,270 0,258	Собственные данные Блюмбергер с сотр. (*) *
Митральная недостаточность	0,065 0,067	0,024 0,021	0,299 0,282	Собственные данные Блюмбергер с сотр. (*) *
Митральный стеноз + мерцательная аритмия	0,086 0,087	0,040 0,044	0,246 0,245	Собственные данные Блюмбергер с сотр. (*) *
Митрально-асортальный порок	0,060 0,059	0,026 0,023	0,300 0,306	Собственные данные Гольдак (?)

* Средние цифры рассчитаны нами по данным, приведенным в работе (*).

Обсуждение результатов исследования. Приведенные данные свидетельствуют о том, что на динамокардиограмме получают отражение основные этапы сердечного сокращения. Так, точка q совпадает с началом охвата возбуждением миокарда желудочков, а точка B соответствует моменту закрытия атриовентрикулярных клапанов. Из этого следует, что отрезок $q - B$ динамокардиограммы связан с механическими процессами, протекающими в желудочках в период распространения волны сокращения по миокарду (электро-механический период (*) или фаза изменения формы (?)). Механическая активность сердца в эту фазу обычно документируется начальным, низкочастотным компонентом I тона. Длительность интервала $q - B$ динамокардиограммы совпадает с длительностью электро-механического периода сердца, подсчитанного с помощью поликардиографической методики у наших обследованных, и литературными данными.

Точка B динамокардиограммы характеризует собой начало механической систолы желудочков (*). Этот факт подтверждается и нашими данными.

Следующая за точкой B точка z динамокардиограммы (рис. 1) выделяется нами как самостоятельная впервые, хотя раньше она также обращала на себя внимание (*). Ее физиологический смысл становится ясным из сопоставления динамокардиограммы и кривой каротидного пульса. Если учитывать время, затрачиваемое на распространение пульсовой волны от сердца до сонной артерии, и сдвинуть пульсовую кривую на величину этой поправки, то начало анакроты, во всех без исключения случаях, соответствует первому (после точки B) излому динамокардиограммы, т. е. точке z . Следовательно, точка z отражает момент открытия полулунных клапанов сердца. Этот факт подтверждается данными, приведенными в табл. 1 и 2: длительность интервала $B - z$ динамокардиограммы во всех группах обследованных совпадает с длительностью фазы изометрического сокращения (время от момента закрытия створчатых клапанов до момента открытия полулунных клапанов).

Таким образом, не точка C , как предполагалось прежде (*), а точка z является опорным пунктом для деления механической систолы на фазу изометрического напряжения и фазу изгнания крови.

Анализ синхронных записей динамокардиограммы и кривых давления в легочной артерии, на которых отмечалось совпадение во времени точки C и начала подъема кривой давления, т. е. случаев, когда эта точка динамо-

кардиограммы отражает начало фазы изгнания крови из правого желудочка, подтверждает известные в литературе (^{9,10}) факты об асинхронии правого и левого желудочков. Вместе с тем мы не считаем точку *C* динамокардиограммы надежным критерием для разделения систолы правого желудочка на фазы напряжения и изгнания, так как в ряде наблюдений эта точка не соответствует во времени началу повышения давления в легочной артерии.

Точка *F* динамокардиограммы соответствует моменту закрытия полулунных клапанов сердца в конце систолы желудочков. Следовательно, эта точка является концом протодиастолического периода по Уиггерсу (¹¹).

Длительность предшествующего точке *F* интервала *V* (*E* — *F*) динамокардиограммы в среднем составляет 0,035 сек. (²), т. е. аналогична длительности протодиастолического периода (время, в течение которого закрываются полулунные клапаны). Этот факт позволяет считать, что интервал *V* динамокардиограммы характеризует собой механические процессы, протекающие во время протодиастолы, а также и то, что точка *E* отражает конец механической систолы желудочков.

Очевидно, что зная начало фазы изгнания (точка *z*) и конец ее (точка *E*), по длительности интервала *z* — *E* динамокардиограммы можно судить о длительности этой фазы систолы желудочков. Как следует из сравнения данных табл. 1 и 2, длительность интервала *z* — *E* динамокардиограммы близко совпадает с длительностью фазы изгнания, подсчитанной по пульсовой кривой.

В заключение необходимо остановиться на ранее принятой (¹) интервальной структуре динамокардиограммы. Шестилетний опыт использования методики динамокардиографии в клинике показал практическую полезность изучения длительности интервалов систолического комплекса (интервалы *II* и *III* — *IV*) динамокардиограммы. Отражая во времени наиболее интенсивные механические процессы, сопровождающие сердечное сокращение и перемещение масс крови в грудной клетке, интервалы динамокардиограммы являются тонкими показателями функционального состояния аппарата кровообращения. Таким образом, интервальный анализ динамокардиограммы имеет самостоятельное значение и должен производиться наряду с фазовым анализом систолы желудочков.

З а к л ю ч е н и е. Динамокардиография позволяет производить детальный фазовый анализ систолы левого желудочка. Время между точкой *q* динамокардиограммы (или зубцом *Q* электрокардиограммы) и точкой *B* соответствует длительности электро-механического периода желудочков сердца (фазы изменения формы). Время между точками *B* и *z* соответствует фазе изометрического сокращения, а время между точками *z* и *E* — фазе изгнания крови из левого желудочка. Сумма интервалов *II*, *III* и *IV* (*B* — *E*) соответствует длительности механической систолы.

Институт нормальной и патологической физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
15 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Б. Бабский, Т. С. Виноградова, В. С. Гурфинкель, Е. Н. Мешалкин, ДАН, 88, № 2, 365 (1953). ² В. Л. Карпман, Динамокардиография, Канд. дисс., 1956. ³ Б. Д. Комаров, Динамокардиографическое исследование больных врожденным пороком — правополотенностью бульбуса сердца, Канд. дисс., 1958. ⁴ H. Schultz, Zs. Kreislaufforsch., 29, № 12, 425 (1937). ⁵ K. Blumberger, Ergebn. innere Med., 62, 424 (1942). ⁶ K. Blumberger et al., Zs. Kreislaufforsch., 45, № 1-2, 17 (1956). ⁷ K. Holidack, Dtsch. Arch. klin. Med., 198, 71 (1951). ⁸ Е. Б. Бабский, В. Л. Карпман, Сборн. Проблемы современной физиологии, Тбилиси, 1956, стр. 501. ⁹ V. Nazzari et al., Cardiologia, 24, № 6, 319 (1954). ¹⁰ G. F. Ellinger, F. G. Gillick et al., Am. Heart J., 35, № 6, 971 (1948). ¹¹ C. Wiggers, Am. J. Physiol., 56, 415 (1921).

Г. А. БУЗНИКОВ

ВЛИЯНИЕ ЯЙЦЕВЫХ ОБОЛОЧЕК НА РАЗВИТИЕ ЭМБРИОНОВ ВЬЮНА

(Представлено академиком А. Н. Бакулевым 27 XII 1958)

Яйцевые оболочки у костистых рыб, будучи необходимыми для нормального развития эмбрионов в экологически специфичных условиях, в то же время могут неблагоприятно влиять на транспорт веществ между эмбрионами и средой (¹⁻⁶). Изучение этого «тормозящего» влияния оболочек затрудняется тем, что в норме оно вплоть до вылупления компенсируется дыхательными приспособлениями эмбрионов (^{4, 5}) и не сказывается существенным образом на развитии. Опыты, проведенные нами ранее на икре озерного лосося, показали, что яйцевые оболочки начинают угнетать дыхание эмбрионов лишь перед самым вылуплением (⁶). Поэтому были основания ожидать, что эмбрионы, задержанные внутри яйцевых оболочек на тех стадиях развития, когда при существующих внешних условиях уже давно должно было произойти вылупление, окажутся удобной экспериментальной моделью для изучения «тормозящего» влияния этих структур.

Наши опыты проводились на икре вьюна. Задержка эмбрионов внутри оболочек осуществлялась посредством инактивации фермента вылупления. Предварительная проверка показала, что в отличие от ферментов вылупления других исследованных костистых рыб (⁵) фермент вылупления вьюна, подобно трипсину, устойчив к действию тиоловых ядов и инактивируется *in vitro* овомукоидом яичного белка, полученным по прописи Фредерика и Дейча (⁷), или растворами яичного белка. Незадолго до начала вылупления равные порции икры (100 штук) помещались в чашки Петри с водой или раствором ингибитора (0,25—0,5 % раствором овомукоида или 6—12 % раствором яичного белка). Точно так же в воду или в раствор ингибитора помещались извлеченные из оболочек эмбрионы, одновозрастные с подопытной икрой. Ожидалось, что какие-либо нарушения развития будут иметь место только для варианта икра — ингибитор, но не для варианта высвобожденные эмбрионы — ингибитор. Яйцевые оболочки вьюна непроницаемы для овомукоида. Поэтому перед опытом в них делалось небольшое отверстие, что обеспечивало быстрое поступление ингибитора в перивителлиновое пространство и предотвращало деформацию икринки, вызванную нарушением нормальных осмотических отношений между перивителлиновой жидкостью и окружающей водой. Так как овомукоид проникал под оболочки заблаговременно, фермент вылупления инактивировался сразу после секреции его в перивителлиновую жидкость, и вылупления подопытных эмбрионов не происходило. При использовании в опытах икры с интактными яйцевыми оболочками ингибитор также попадал в перивителлиновую жидкость, но лишь после частичного растворения оболочек ферментом вылупления. В этом случае часть подопытных эмбрионов вылуплялась вследствие механического разрыва утонченных оболочек.

1 серия опытов проводилась при температуре 16—18° и напряжении кислорода в воде 80—100 мм рт. ст. Вплоть до начала вылупления в контроле развитие подопытных эмбрионов протекало вполне нормально. К мо-

менту завершения массового вылупления в контроле у подопытных эмбрионов (икра — ингибитор) обнаруживаются некоторые нарушения развития, а именно небольшие отеки в области перикарда и на желточном мешке (табл. 1). Спустя 5—10 час. после инактивации фермента вылупления отклонение от нормы усиливается. У подопытных эмбрионов нарушено или совершенно отсутствует кровообращение, резко выражены отеки, часто наблюдается полное разобщение округлой и продолговатой частей желточного мешка, туловище слегка деформировано (рис. 1 А, а и табл. 1). Искусственное удаление оболочек у таких эмбрионов приводит к постепенной нормализации развития. Через 40—48 час. после инактивации фермента вылупления около 25% задержанных в яйцевых оболочках эмбрионов погибло; у остальных наблюдаются необратимые нарушения развития — огромные отеки, сильная деформация туловища, угнетение работы сердца, отсутствие движения крови по сосудам (рис. 1 Б, а и табл. 1). Даже после искусственного удаления оболочек эти эмбрионы живут не более нескольких часов. Таким образом, при данных внешних условиях задержка внутри яйцевых оболочек приводит эмбрионов к гибели приблизительно через двое суток, причем во второй половине этого срока нарушения развития приобретают необратимый характер. В отсутствие яйцевых оболочек (высвобожденные эмбрионы — ингибитор) растворы яичного белка или овомукоида практически не влияют на состояние эмбрионов (рис. 1 А и Б — б).

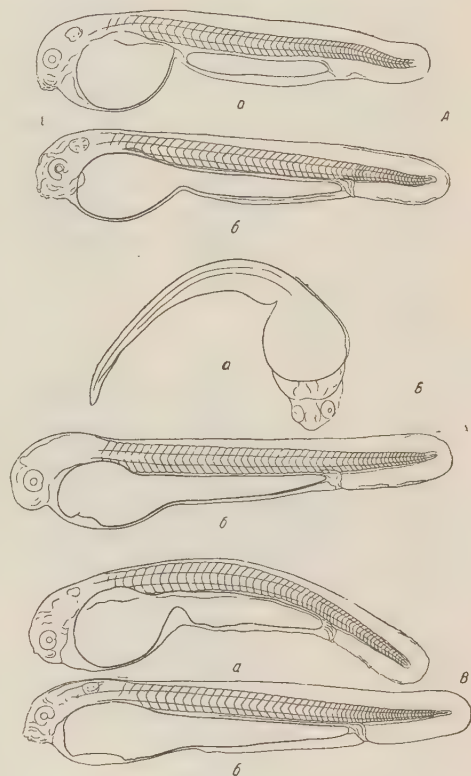


Рис. 1. Вариант икра — ингибитор после инактивации фермента вылупления (а) и одновозрастные высвобожденные эмбрионы, инкубируемые в растворе ингибитора (б). Время после инактивации. А — 7 час., Б — 28 час., В — 6 час. Температура инкубации 16—18°; напряжение кислорода: А и Б — 80—100 мм рт. ст., В — 20—40 мм рт. ст. Рисунки сделаны с микрофотографий

II серия опытов проводилась при напряжении кислорода, равном 20—40 мм рт. ст. В этих условиях задержка эмбрионов внутри оболочек приводила к значительно более резким и быстрее развивающимся нарушениям (рис. 1 В, а). Эти нарушения развития уже через несколько часов после инактивации фермента вылупления становятся необратимыми, а через 20—24 часа вызывают гибель эмбрионов. В контроле (высвобожденные эмбрионы — вода, тем более икра — вода) также наблюдаются сходные отклонения от нормы — нарушения кровообращения и отеки, выраженные в значительно меньшей степени (рис. 1 В, б).

III серия опытов проводилась при температуре 16,4° и напряжении кислорода в воде 150 мм рт. ст. Было обнаружено, что улучшение кислородного режима значительно отодвигает сроки выявления неблагоприятного влияния оболочек: подопытные эмбрионы развиваются вполне нормально до таких стадий, на которых при напряжении кислорода 80—100 мм возникают необратимые морфологические и функциональные расстройства и начинается гибель эмбрионов. Однако после массового вылупления в контроле, которое в данном случае происходит на значительно более поздних стадиях разви-

Влияние кислородного режима на состояние эмбрионов, искусственно задержанных в яйцевых оболочках

	Условия опыта		Возраст			
	напряж. кислорода, мм. рт. ст.	т-ра, °С*	6 сут. 17 час.	7 сут.	7 сут. 17 час. — 8 сут.	8 сут. 17 час.
Опыт № 27, эмбрион в возрасте 6 сут. *	80—100	16—18	Массовое вылупление в контроле. Нарушения развития у подопытных эмбрионов незначительны	У подопытных эмбрионов нарушения кровообращения, отеки и т. д., носящие обратимый характер	Около 25% эмбрионов погибло, у остальных необратимые нарушения развития	100% отход подопытных эмбрионов
Опыт № 28, эмбрион в возрасте 5 сут. 19 час. *	150	16,4	—	Развитие подопытных эмбрионов протекает нормально	Массовое вылупление в контроле. У части подопытных эмбрионов незначительные нарушения развития	У подопытных эмбрионов сильная деформация туловища, погибло 75% подопытных эмбрионов

* Имеется в виду возраст к моменту дачи ингибитора. ** До начала опыта икра инкубировалась при 10—12°.

тия, у подопытных эмбрионов (икра — ингибитор) быстро возникают отклонения от нормы. Эти отклонения имеют несколько иной характер, чем в I и II сериях опытов: у эмбрионов обычно отсутствуют отеки, но с самого начала резко выражены деформация тела и связанные с нею нарушения локомоции. Такие эмбрионы погибают через 2,5—3 суток после инактивации фермента вылупления. Высвобожденные эмбрионы, инкубируемые в растворе ингибитора, развиваются вполне нормально (табл. 1).

Полученные экспериментальные данные показали, что до определенной стадии развития «тормозящее» влияние оболочек может быть полностью компенсировано улучшением кислородного режима. Эта стадия развития совпадает со стадией массового вылупления при 100%-м насыщении воды кислородом (самой поздней потенциально возможной стадией нормального вылупления (⁵)). Ухудшение условий аэрации ускоряет выявление «тормозящего» влияния оболочек, но сдвигает соответствующим образом и сроки вылупления. Однако при инактивации фермента вылупления выход эмбрионов из яйцевых оболочек оказывается невозможным, и «тормозящее» влияние этих структур выявляется в полной мере. Сходные нарушения развития могут быть вызваны и в отсутствие яйцевых оболочек снижением парциального давления кислорода до 20—40 мм рт. ст. (рис. 1 В,б).

Растворенные в воде вещества, в том числе кислород, проходят через яйцевые оболочки путем диффузии (⁸). Поэтому напряжение кислорода в перивителлиновой жидкости живой икринки должно быть всегда несколько ниже, чем в окружающей воде. Возможность компенсировать, усиливать и имитировать «тормозящее» влияние оболочек соответствующими сдви-

тами условий аэрации свидетельствует о том, что оно сводится именно к этому снижению напряжения кислорода в перивителлиновой жидкости. О том же свидетельствует наблюдаемое у вьюна и ряда других костистых рыб (⁵) совпадение стадии массового вылупления и стадии, на которой при существующих внешних условиях выявляется «тормозящее» влияние оболочек. Известно, что адекватным раздражителем, возбуждающим секрецию фермента вылупления у этих рыб, является снижение парциального давления кислорода.

У эмбрионов, прошедших самую позднюю потенциально возможную стадию вылупления, неблагоприятное влияние оболочек на развитие уже не может быть компенсировано улучшением кислородного режима. По-видимому, в этом случае причиной отклонений от нормы и последующей гибели эмбрионов является не кислородный режим перивителлинового пространства, а иное, быть может механическое, влияние оболочек.

Полученные результаты с несомненностью подтверждают приспособительное значение сдвигов стадии вылупления, наблюдаемых у различных костистых рыб при изменениях кислородного режима.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
20 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. Kronfeld, F. Scheminsky, Roux' Arch., 107, 129 (1926). ² F. R. Hayes, F. Armstrong, Canad. J. Res., Sec. D., 20, 99 (1942). ³ A. Lindroth, Zur Biologie der Befruchtung und Entwicklung beim Hecht. Stockholm, 1946. ⁴ С. Г. Крыжановский, Тр. Инст. морф. животн. им. А. Н. Северцова АН СССР, в. 2, 5 (1949). ⁵ Г. А. Бузников, Кандидатская диссертация, М., 1956. ⁶ Г. А. Бузников, Журн. общ. биол., 18, 350 (1957). ⁷ E. Fredericq, H. F. Deutsch, J. Biol. Chem., 171, 565 (1949). ⁸ П. Г. Светлов, Roux' Arch., 114, 771 (1929).

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

А. В. ГУСЕВ, Е. В. ЖУКОВ и Ю. А. СТРЕЛКОВ

**О ЗАРАЖЕННОСТИ МИНТАЯ ПАЗАРИТАМИ И ЕГО ПРОМЫСЛОВОМ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 10 XII 1958)

В связи с задачей максимального использования природных ресурсов и создания изобилия пищевых продуктов возник вопрос о расширении промысла некоторых рыб, ранее использовавшихся недостаточно по сравнению с их запасами. К числу таких рыб относится минтай *Theragra chalcogramma* (Pallas), имеющий большое значение в промысле Японии и особенно Кореи, но слабо используемый в СССР. Недоиспользование запасов минтая в наших водах обуславливается наличием других, более ценных рыб с лучшими вкусовыми качествами и предубежденностью против него вследствие зараженности его паразитами. Наличие на разных органах в полости тела, а по словам различных работников рыбной промышленности и в мясе минтая большого количества паразитов, в основном круглых червей, придает рыбе в глазах потребителя неаппетитный вид и вызывает иногда ряд недоразумений и неприятностей.

Поэтому необходимо дать ясные ответы на следующие основные вопросы: 1) заражено ли мясо минтая паразитическими червями и если заражено, то в какой степени; 2) имеются ли среди паразитов минтая опасные для человека; 3) какие исследования следует провести, чтобы окончательно решить вопрос об использовании запасов минтая.

В минтае, неоднократно исследовавшемся паразитологами, в настоящее время известно 32 вида различных паразитов, относящихся к группам простейших животных (2 вида), моногенетических (1) и дигенетических (14) сосальщиков, ленточных (5) и круглых (5) червей, скребней (2), пиявок (1) и ракообразных (2). Из них только один представитель — миксоспоридия *Glugea punctifera* — встречается в мускулатуре, подчас в значительном количестве, в виде мелких, длиной до 2—3 мм, цист веретеновидной формы. Все остальные паразиты встречались в различных органах и в полости рта. Лишь отдельные экземпляры круглых червей *Roggoeum* sp. и ленточных четыреххоботных — *Nybelinia surmenicola* обнаруживались также в мускулатуре.

В 1951—1955 гг. авторы провели полные гельминтологические вскрытия минтая в районах зал. Петра Великого (июль — октябрь), Авачинской бухты и Камчатского залива (июль — сентябрь) и Кроноцкого залива (23—25 мая).

Результаты вскрытий видны из табл. 1*.

В мускулатуре минтая были найдены круглый червь *Roggoeum* sp. 5 раз в зал. Петра Великого (по 1—4 экземпляра в рыбе), 4 раза в Авачинской бухте (по 1 экземпляру) и 7 раз в Камчатском заливе (по 3—8 экземпляров). Кроме того, один раз в Кроноцком заливе в мясе рыбы был обнаружен 1 экземпляр четыреххоботного ленточного червя *Nybelinia*.

* Интересно отметить, что в Кроноцком заливе 1 минтай длиной 34 см был совсем свободен от паразитов, а 3 минтая длиной 35—36 см имели единичные их экземпляры.

Приведенные данные, равно как и опубликованные другими авторами ранее, свидетельствуют о том, что мясминтая в период июль — октябрь в зал. Петра Великого и в мае в Кроноцком заливе практически свободно от паразитических червей (единичные находки можно не принимать в расчет). Несколько выше заражение мускулатуры мясминтая в водах восточного побережья Камчатки в летнее время, однако интенсивность заражения также невелика.

Сообщения о том, что мясминтая бывает сильно заражено, вероятно, вызваны тем, что некоторые паразиты, особенно четыреххоботные лентецы, могут выходить из оболочек их цист у сваленной в трюм транспортируемой для обработки рыбы. В этом случае они способны расползтись из анального отверстия, вокруг которого они сидят часто большими скоплениями, по кишке, на жабры, по коже, частично внедряться своими хоботами в мускулатуру. Подобная картина может создавать иллюзию выхода их из мяса.

Из всех известных паразитов мясминтая ни один не представляет опасности для человека. Поэтому, если сведения о сильном заражении мяса червями в какой-то степени и достоверны, то браковать целые уловы и районы улова из-за этого все же не следует. Тем более не нужно делать последнего в случае сильной пораженности личинками ленточных и круглых червей внутренностей рыбы. Хороший санитарный контроль, выбраковка особенно зараженных особей и тщательное удаление иногда сильно пораженных паразитами внутренностей рыбы вполне могут исключить нахождение паразитов в готовой продукции. В зависимости от характера заражения рыбы

Таблица 1

Зараженность мясминтая паразитическими червями

Группа паразитов	Зал. Петра Великого, VII—X 1951 и 1952 гг. Обследов. 19 рыб, дл. 43—76 см (Е. В. Жуков)				Авачинская бухта и Камчатский зал, VII—IX 1953 и 1954 гг. Обследов. 17 рыб дл. в основном 50 см (Ю. А. Стрелков)				Кроноцкий зал, V 1955 г. Обследов. 17 рыб дл. 34—36 и 45—55 см (А. В. Гусев)			
	кишечный тракт		полость тела		мускулатура		кишечный тракт		полость тела		кишечный тракт	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Сосальщики	100	до 157 (8—20)	47,3	10—20	—	—	100	до 139 (2—16)	29,4	1—9	40,7	2—200
Ленточные черви	89,4	3—20	89,4	10—30	—	—	70,7	1—15	100	1—88 (2—14)	41,1	1—4
Круглые черви	79	6—10	100	20—100	26,3	1	47,0	1—16 (3—4)	100	до 325 (29—92)	—	—
Скребни	100	10—30	5,2	1	—	—	100	до 124 (21—57)	—	—	70,6	2—80 (5—30)
									17,6	1—3	—	—
									64,7	1—36	5,8	1
									88,2	1—100 (10—50)	—	—
									—	—	—	—

Примечания. а — процент заражения, б — интенсивность заражения. В скобках приводятся данные о наиболее часто отмечавшейся интенсивности заражения.

следует также решать и вопрос о применении той или иной технологии обработки рыбы (посол, морозка, фарш и т. д.).

Для установления наиболее выгодных сроков, районов лова и возраста рыбы с целью получения наибольшего выхода продукции необходимо провести более широкие исследования зараженности паразитами минтая в различных районах с учетом возрастной и сезонной динамики его заражения.

Подводя итог изложенному, следует прийти к заключению, что тревога, поднимавшаяся по поводу зараженности минтая паразитами, имеет мало оснований, тем более, что заражение теми же паразитами и подчас в меньшей степени таких, также неполно используемых ценных пород рыб, как треска и терпуг, не вызывало на Дальнем Востоке особых опасений.

Настало время более полно использовать большие запасы минтая.

Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
7 XII 1958